

ISSN 1561-8358 (Print)
ISSN 2524-244X (Online)**МАШИНОСТРОЕНИЕ, МЕХАНИКА**
MECHANICAL ENGINEERING, MECHANICS<https://doi.org/10.29235/1561-8358-2025-70-2-136-144>
УДК 62-82-112.6(083.13)Оригинальная статья**В. В. Пинчук¹, А. А. Гинзбург², О. К. Гурбан^{1*}**¹*Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого,
пр. Октября, 48, 246029, Гомель, Республика Беларусь*²*ОАО «Гомельское специальное конструкторско-техническое бюро
гидропневматической автоматики»,
ул. Советская, 145, 246144, Гомель, Республика Беларусь***ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СОЕДИНИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫХ МОДУЛЕЙ
ПРИ КОНСТРУИРОВАНИИ ГИДРОБЛОКОВ УПРАВЛЕНИЯ МАШИН**

Аннотация. Предлагается при внедрении в практику конструирования агрегатно-модульного подхода для создания гидроблоков управления гидроприводов технологического оборудования решать задачу оптимального конструирования агрегатно-модульных гидроблоков управления путем разработки и использования соединительно-монтажных модулей, которые реализуют инвариантные математические модели и при проектировании – алгоритмы проектирования, направленные на формирование структуры гидравлических каналов и монтажных корпусов, определяемых принципиальными гидравлическими схемами. Оптимизация параметров присоединительных размеров соединительно-монтажных модулей на основе критериев: объем и масса, гидравлические потери давления, трудоемкость и стоимость изготовления, – позволяет выполнить параметрический синтез агрегатно-модульных гидроблоков управления. Проведен анализ общего критерия оптимальности соединительно-монтажных модулей с учетом технологического процесса изготовления модулей. Установлено, что если учитывать весь срок эксплуатации изделия, затратами на стоимость и обработку заготовки соединительно-монтажных модулей можно пренебречь. Таким образом, процесс оптимизации параметров соединительно-монтажных модулей упрощается. Полученный результат можно использовать при проектировании монтажных корпусов гидроблоков управления технологического оборудования.

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация об авторах: Пинчук Владимир Владимирович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Нефтегазоразработка и гидро-пневмоавтоматика» Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. <https://orcid.org/0000-0003-4672-3776>. E-mail: pinchuk@gstu.by; Гинзбург Александр Анатольевич – главный конструктор ОАО «Гомельское специальное конструкторско-техническое бюро гидропневматической автоматики». <https://orcid.org/0009-0009-5664-3631>. E-mail: ginsburg.gsktb@tut.by; Гурбан Ольга Константиновна – аспирант, Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого. <https://orcid.org/0009-0004-8561-6724>. E-mail: gurbanolga@gmail.com

Вклад авторов: Пинчук Владимир Владимирович – разработка методологии исследования, редактирование текста рукописи, формулировка выводов; Гинзбург Александр Анатольевич – обоснование концепции исследования, разработка методологии исследования, подготовка образцов, интерпретация результатов; Гурбан Ольга Константиновна – написание и оформление текста рукописи, подготовка образцов, интерпретация результатов, обобщение результатов исследования.

Для цитирования: Пинчук, В. В. Оптимизация параметров соединительно-монтажных модулей при конструировании гидроблоков управления машин / В. В. Пинчук, А. А. Гинзбург, О. К. Гурбан // Весті Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук. – 2025. – Т. 70, № 2. – С. 136–144. <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2025-70-2-136-144>

Поступила в редакцию: 04.10.2023

После доработки: 17.04.2025

Утверждена к публикации: 12.06.2025

Подписана в печать: 19.06.2025

Original article

Vladimir V. Pinchuk¹, Alexander A. Ginzburg², Olga K. Gurban^{*}

¹Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoi, 48, Oktyabrya Ave., 246029, Gomel, Republic of Belarus

²OJSC “Gomel Special Design and Technical Bureau of Hydropneumatic Automatics”,
145, Sovetskaya St., 246144, Gomel, Republic of Belarus

OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF CONNECTING AND MOUNTING MODULES IN THE DESIGN OF HYDRAULIC CONTROL UNITS OF MACHINES

Abstract. It is proposed that when implementing into practice the design of the aggregate-modular approach for creating hydraulic control units for hydraulic drives of process equipment, the problem of optimal design of aggregate-modular hydraulic control units be solved by developing and using connection and assembly modules that implement invariant mathematical models and, when designing, design algorithms aimed at forming the structure of hydraulic channels and assembly housings determined by basic hydraulic diagrams. Optimization of parameters of connection dimensions of connection and mounting modules based on criteria: volume and weight, hydraulic pressure losses, labor intensity and manufacturing cost, allows to perform parametric synthesis of aggregate-modular hydraulic control units. The analysis of the general criterion of optimality of connection and mounting modules is carried out taking into account the technological process of manufacturing modules. It is established that if the entire service life of the product is taken into account, the costs of cost and processing of the blank of connection and mounting modules can be neglected. Thus, the process of optimization of parameters of connection and mounting modules is simplified. The obtained result can be used in designing mounting housings of hydraulic control units of technological equipment.

Keywords: industrial equipment drives, hydraulic control blocks, technological machines, hydraulic devices, optimality criterion

Conflict of interest: the authors declare that there is no conflict of interest.

Information about the authors: *Vladimir V. Pinchuk* – Dr. Sci. (Engineering), Associate Professor, Professor of the Department of Oil and Gas Development and Hydro-Pneumatic Automatics at Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoi. <https://orcid.org/0000-0003-4672-3776>. E-mail: pinchuk@gstu.by; *Alexander A. Ginzburg* – Chief Designer at OJSC “Gomel Special Design and Technical Bureau of Hydropneumatic Automatics”. <https://orcid.org/0009-0009-5664-3631>. E-mail: ginsburg.gsktb@tut.by; *Olga K. Gurban* – Graduate Student at Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoi. <https://orcid.org/0009-0004-8561-6724>. E-mail: gurbanolga@gmail.com

Contribution of the authors: *Vladimir V. Pinchuk* – development of research methodology, editing of the manuscript text, formulation of conclusions; *Alexander A. Ginzburg* – substantiation of the research concept, development of research methodology, preparation of samples, interpretation of results; *Olga K. Gurban* – writing and formatting of the manuscript text, preparation of samples, interpretation of results, generalization of research results.

For citation: Pinchuk V. V., Ginzburg A. A., Gurban O. K. Optimization of parameters of connecting and mounting modules in the design of hydraulic control units of machines. *Vestsi Natsyianal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya fizika-tekhnichnykh navuk* = *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*, 2025, vol. 70, no. 2, pp. 136–144 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2025-70-2-136-144>

Received: 04.10.2023

Modified version: 17.04.2025

Approved for publication: 12.06.2025

Signed to the press: 19.06.2025

Введение. В настоящее время гидравлические приводы, как правило, состоят из наукоемких компонентов – аппаратов и агрегатов, серийно изготавливаемых специализированными заводами [1]. При разработке гидроприводов технологических машин конструируют гидроблоки управления (ГУ), которые объединяют гидроаппараты, соединенные между собой согласно принципиальным гидросхемам. Гидроблоки являются сложной и дорогостоящей подсистемой гидроприводов технологического оборудования, а затраты на их создание, как правило, многократно превышают стоимость гидроаппаратов, используемых при разработке. Поэтому проблема повышения

эффективности производства и эксплуатации ГУ является актуальной для каждого машиностроительного предприятия [2].

Отметим, что в последние годы возрос интерес к повышению эффективности ГУ. Так, в [3–5] приведены примеры оценки параметров и их влияние на выходные показатели гидроблоков управления. Между тем при создании конструкций ГУ монтажные корпуса во внимание не принимаются, что ухудшает показатели данных гидроблоков в целом. Одной из главных причин снижения эффективности ГУ является вариативность структурных решений в процессе их конструирования, которая существенно усложняет этот процесс. При этом конструирование ГУ можно упростить за счет перехода к агрегатно-модульному принципу их построения, который позволит снизить влияние фактора вариативности процесса проектирования на выходные показатели разрабатываемых гидроблоков: материалоемкость, затраты и сроки создания [6, 7].

В свою очередь внедрение в практику конструирования агрегатно-модульного подхода при создании ГУ гидроприводов технологического оборудования ставит задачу разработки рекомендаций для их проектирования.

Постановка задачи и цели исследования. Конструкция гидропривода и его основные параметры определяются типом машины, для которого он предназначен. Поэтому разработка данного оборудования должна начинаться с анализа технического задания (ТЗ). Этот документ содержит общее описание машины, включая механическую часть, электрические и гидравлические узлы (функционально) с предварительной компоновкой на станке гидродвигателей, насосной установки, а также указание возможных мест размещения гидроаппаратуры. В ТЗ приводятся: методы управления и контроля; требуемые блокировки; нагрузочные характеристики и режимы движения (перемещения, скорости, ускорения, пути торможения и разгона) каждого рабочего органа; циклограмма рабочего цикла станка; необходимые средства диагностики технического состояния; основные требования надежности. При необходимости указываются и другие сведения: точность, дискретность перемещений, жесткость, вибрации, шум, качество переходных процессов, температура масла, точность гидравлического уравнивания, возможности регулировок, необходимость остановок гидродвигателей в промежуточных положениях, время выстоя и др.

После разработки ТЗ анализируются различные варианты принципиальной гидросхемы привода. При этом решаются вопросы техники безопасности, в том числе при различных нарушениях в работе гидрооборудования (случайные падения давления, сгорание обмотки электромагнита, засорение малых отверстий и т. п.); вводятся блокировки, исключающие возможность несовместимых движений, падения вертикально расположенных рабочих органов, включения движений при отсутствии смазки и т. п.; обеспечивается необходимый минимум регулировок.

Особое внимание уделяется сокращению энергетических потерь. Как правило, в гидросистемах станков температура не превышает 55 °С и лишь в простейших гидроприводах, к стабильности работы которых не предъявляется высоких требований, может достигать 70 °С. Поддержание теплового режима гидропривода, в котором имеются значительные потери мощности вследствие дросселирования масла, – весьма сложная техническая проблема, требующая существенного увеличения объема бака или применения эффективной системы искусственного охлаждения.

После составления принципиальной схемы приступают к подбору гидроаппаратов и других узлов гидропривода по их функциональному назначению и величине условного прохода, рассчитывают проходные сечения трубопроводов в зависимости от расхода рабочей жидкости (Q), проходящей по тому или иному участку гидросистемы, и рекомендуемой скорости потока рабочей жидкости.

На основе принципиальной гидросхемы и выбранных гидроаппаратов и узлов выполняют проектирование ГУ. При этом гидравлические схемы приводов современных машин, как правило, составляются из нормализованных аппаратов и агрегатов, выпускаемых серийно специализированными заводами. Это позволяет упростить процесс проектирования, монтаж гидравлических систем и их эксплуатацию. Из нормализованных аппаратов (или функциональных узлов) создаются разнообразные системы, обеспечивающие работу по сложным циклам с широким диапазоном регулирования скорости. Конструктивное совершенство входящих в ГУ компонентов

позволит сформулировать задачу многокритериальной оптимизации гидроблоков. Ранее установлено, что для выполнения параметрической оптимизации ГУ необходимо учитывать его объем и массу, гидравлические потери давления в системе (энергетические характеристики), трудоемкость и стоимость изготовления [6]. Очевидно, что эти требования должны распространяться и на каждый компонент агрегатно-модульных ГУ.

Таким образом, решение задачи конструирования агрегатно-модульных ГУ следует вести путем разработки и использования монтажных модулей, реализующих инвариантные математические модели и алгоритмы включения при их проектировании структуры гидравлических каналов монтажных корпусов, определяемых принципиальными гидравлическими схемами. Установлено [6, 7], что разработка и обоснование параметров присоединительных размеров соединительно-монтажных модулей (СММ) позволяет выполнить проектирование различных типов или широкого ассортимента компонентов агрегатно-модульных ГУ: СММ, замыкающих блоков (БЗ), блоков распределителей (БР) и присоединительных блоков (БП). Таким образом, оптимизация параметров и вычисление присоединительных размеров СММ на основе таких критериев, как объем и масса, гидравлические потери давления, трудоемкость и стоимость изготовления, – позволяют выполнить структурный синтез агрегатно-модульных гидроблоков.

Для оптимизации параметров СММ получено выражение общего критерия оптимальности [7]

$$X = \left(C_1 \frac{V}{V^*} + C_2 \frac{S}{S^*} + C_3 \frac{\Delta P_B}{\Delta P_B^*} + C_4 \frac{\Delta P_\Gamma}{\Delta P_\Gamma^*} \right) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где C_1 – C_4 – коэффициенты критериев, назначаемые экспертным путем; ΔP_B – потери давления в вертикальных каналах СММ; ΔP_Γ – потери давления в горизонтальных каналах СММ; V и S – соответственно объем и площадь поверхности СММ; ΔP_B^* , ΔP_Γ^* , V^* , S^* – нормирующие множители.

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 рассчитать параметры СММ возможно на основе исследований общего критерия оптимальности X , используя в качестве варьируемых параметров коэффициенты важности критериев C_1 – C_4 и соотношение диаметров вертикальных (d_B) и горизонтальных (d_Γ) каналов d_B/d_Γ [3]. Результаты таких исследований критерия X позволяют разработать алгоритм проектирования компонентов агрегатно-модульных ГУ для машин с различными условиями эксплуатации [9]. Вместе с тем процесс конструирования, включающий оптимизацию параметров СММ, при таком подходе, без учета технологии изготовления гидроблока, существенно затруднен, так как в этом случае приходится рассматривать чрезмерно большое количество значений критерия оптимальности X .

Цель исследования – упрощение процесса оптимизации параметров соединительно-монтажных модулей.

Методы исследования. Принимая во внимание критерии оптимальности СММ, рассмотрим его присоединительные размеры. Для решения поставленной задачи проведем анализ общего критерия оптимальности указанного модуля (1) с учетом технологического процесса (ТП) его изготовления, который включает следующие операции:

- 1 – вертикально фрезерная (черновая);
- 2 – горизонтально фрезерная (черновая);
- 3 – шлифовальная (черновая);
- 4 – сверлильная;
- 5 – шлифовальная (чистовая).

Составляющие формулы (1) имеют разные размерности, поэтому для упрощения расчета приведем их к стоимостному выражению. Тогда объем заготовки V будем отражать как стоимость использованного металла (Π_m , руб.), а площадь обработанной поверхности модуля S – как стоимость обработки (Π_o , руб.), с этой целью используем стоимость нормочаса операций 1–3 и 5 технологического процесса изготовления СММ.

Потери мощности при проходе рабочей жидкости по каналам СММ, связанные с гидравлическими потерями давления $\frac{\Delta P_B}{\Delta P_B^*} + \frac{\Delta P_\Gamma}{\Delta P_\Gamma^*}$, определим как Π_ζ (руб.) – стоимость затраченной энергии на гидравлические потери давления в каналах СММ (например, кВт/ч электроэнергии).

Однако, принимая во внимание ТП изготовления СММ, нам необходимо учесть операцию 4. Для этого введем понятие структуры каналов СММ, включающей стоимость сверления каналов (Π_{CB} , руб.), которую можно определить на основе учета их конфигурации, полученной при расчетах минимальных гидравлических потерь давления [6].

В дальнейшем будем рассматривать: $\frac{\Pi_V}{\Pi_V^*}$ как отношение стоимостей объема первоначальной заготовки; $\frac{\Pi_S}{\Pi_S^*}$ – как отношение стоимостей площадей обработанных поверхностей СММ; $\frac{\Pi_{CB}}{\Pi_{CB}^*} + \frac{\Pi_\zeta}{\Pi_\zeta^*}$ – как стоимость структуры каналов СММ, которая включает стоимость потерь энергии при проходе рабочей жидкости по каналам СММ и стоимость сверления этих каналов.

Таким образом, оптимизация будет сводиться к расчету минимальной стоимости готового изделия. В результате формула (1) примет следующий вид:

$$X = \left(C_1 \frac{\Pi_M}{\Pi_M^*} + C_2 \frac{\Pi_O}{\Pi_O^*} + C_3 \frac{\Pi_{CB}}{\Pi_{CB}^*} + C_4 \frac{\Pi_\zeta}{\Pi_\zeta^*} \right) \rightarrow \min. \quad (2)$$

Анализ формулы (2) показывает, что определение первых двух слагаемых затруднений не вызывает, так как стоимость материала, из которого предполагается изготавливать СММ, и трудоемкость, а следовательно, стоимость обработки его поверхностей являются широко распространенной информацией, которую можно легко получить из общедоступных источников, например [12]. В то же время расчет стоимости структуры каналов вызывает определенные затруднения из-за ее вариативности.

Для решения этой задачи рассмотрим конструктивное устройство СММ, представленное схематично на рис. 1.

На рисунке приведена структура расположения каналов СММ. Чтобы выполнить расчеты стоимости структуры СММ, введем индексы отверстий СММ: входа (i) и выхода (j) рабочей жидкости, где значения индексов соответствуют номерам коммуникационных каналов, приведенных на рис. 1, и находятся в пределах 9–24. Тогда $i = 9, 10, \dots, 23$, а $j = 10, 11, \dots, 24$. Введенные обозначения и размеры позволяют нам задавать и определять характеристику каналов СММ при проходе рабочей жидкости с одной плоскости модуля на другую и в итоге рассчитывать стоимость затраченной энергии на гидравлические потери давления в каналах СММ (Π_ζ) и операции

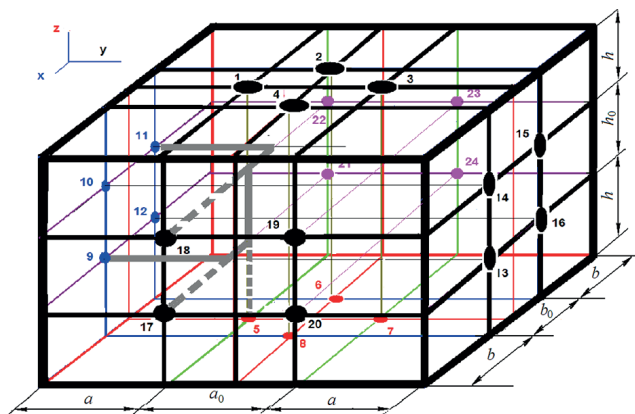


Рис. 1. Схема конструктивного устройства соединительно-монтажных модулей (СММ); цифрами 1–8 обозначены магистральные каналы модулей; 9–24 – коммуникационные каналы устройства

Fig. 1. Schema of the structural device of connection and mounting modules (СММ); the numbers 1–8 indicate the main channels of the modules; 9–24 – the communication channels of the device

сверления каналов СММ ($\Pi_{\text{св}}$) в соединениях между установленными на СММ гидроаппаратами. Тогда каждое из соединений каналов СММ будет определяться также двумя индексами – i, j , что в свою очередь позволит нам установить структуру разрабатываемой конструкции. Для пояснения конструктивного устройства СММ на рис. 1 нанесена трассировка соединения между отверстиями $i = 9$ и $j = 11$.

Следует отметить при этом, что конфигурации каналов, учитываемые для расчетов Π_z и $\Pi_{\text{св}}$, могут несколько отличаться между собой, что обусловлено технологическими особенностями изготовления каналов СММ. Так, на рис. 1 для расчета Π_z будет использоваться структура каналов, нанесенная сплошной линией, а для определения $\Pi_{\text{св}}$ необходимо добавлять еще и участки каналов, нанесенные штриховыми линиями.

На основе анализа рис. 1 можно составить треугольную матрицу структуры каналов, устанавливающую связи между входными (i) и выходными (j) отверстиями СММ:

$$\Pi_{i,j} = \begin{pmatrix} \Pi_{9,10} & \Pi_{9,11} & \Pi_{9,12} & \dots & \Pi_{9,22} & \Pi_{9,23} & \Pi_{9,24} \\ 0 & \Pi_{10,11} & \Pi_{10,12} & \dots & \Pi_{10,22} & \Pi_{10,23} & \Pi_{10,24} \\ 0 & 0 & \Pi_{11,12} & \dots & \Pi_{11,22} & \Pi_{11,23} & \Pi_{11,24} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \Pi_{21,22} & \Pi_{21,23} & \Pi_{21,24} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & \Pi_{22,23} & \Pi_{22,24} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & \Pi_{23,24} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Элементами матрицы являются значения сумм Π_z^{ij} и $\Pi_{\text{св}}^{ij}$ каналов СММ, то есть

$$\Pi_{ij} = \Pi_z^{ij} + \Pi_{\text{св}}^{ij}.$$

Гидравлические потери давления в соединениях между гидроаппаратами посредством СММ можно рассчитать следующим образом:

$$\Delta p_{i,j} = \sum_{k=1}^{m_j} \Delta p l_k + \sum_{s=1}^{n_i} \Delta p m_s, \quad (4)$$

где n_i – количество местных сопротивлений (поворотов), шт.; m_j – количество прямолинейных участков каналов, шт.; $\Delta p_{i,j}$ – потеря давления в заданном направлении, МПа; $i = 9, 10, \dots, 23$ – номера входных отверстий; $j = 10, 11, \dots, 24$ – номера выходных отверстий; $\Delta p l_k$ – потеря давления на трение по длине прямолинейного участка канала, МПа, определяемая следующим образом:

$$\Delta p l_k = \frac{8\rho Q^2}{\pi^2} \lambda \frac{L_k}{d_k^5}$$

(L_k – длина прямолинейного участка канала, определяемая по размерам a, a_0, b, b_0, h, h_0 ребер СММ (см. рис. 1), м; d_k – диаметр участка коммуникационного канала, м; Q – расход жидкости, $\text{дм}^3/\text{мин}$; λ – коэффициент Дарси); $\Delta p m_s$ – потеря давления на местных сопротивлениях (на поворотах), МПа, рассчитываемая по выражению

$$\Delta p m_s = \frac{8\rho Q^2}{\pi^2} \xi \frac{1}{dm_s^4}$$

(dm – диаметр магистрального канала, мм; ρ – плотность жидкости, $\text{кг}/\text{дм}^3$; ξ – коэффициент местного сопротивления).

Для определения L_k используем размеры СММ, указанные на рис. 1. Относительно базового размера a , который примем в расчетах равным 0,08 м, остальные размеры модуля будут находиться из следующих соотношений:

$$b = a, h = 0,8a, a_0 = 0,635a, b_0 = a_0, h_0 = 0,635h.$$

Аналогічна задаем адносительныя значэння дыяметраў каналаў:

$$d_k = 0,1a, dm = 0,138a.$$

Для ісследования залежнасці гідравлічных стратаў ціску ў каналах ад лінейных памераў СММ будзем разглядаць безразмерную велічыню:

$$\Delta \tilde{p}_{i,j} = \Delta p_{i,j} \left(\frac{\pi^2 a^4}{8\rho Q^2} \right). \quad (5)$$

Тогда

$$\Pi_{\tilde{p}}^{ij} = \Delta p_{i,j} Q \cdot T, \quad (6)$$

дзе T – коштаваць кіловатт-гала гідравлічных стратаў, руб.

Падставіў (4) ў (5), вызначым $\Pi_{\tilde{p}}^{ij}$ для $\lambda = 1$ і $\xi = 0,987$ (у СММ паўораты каналаў выкананы пад углом 90°) (рис. 2).

Разлічым коштаваць аперацыі сверлення каналаў $\Pi_{\text{св}}^{ij}$:

$$\Pi_{\text{св}}^{ij} = \frac{1000}{v_{\text{п}} \cdot n} \sum L_{ij} \cdot T_{\text{н-час}}, \quad (7)$$

дзе n – частота вярчэння сверла, $n = 500$ аб/мін; $v_{\text{п}}$ – скорасць падачы сверла, $v_{\text{п}} = 0,14$ мм/аб; L_{ij} – даўжыня каналаў паміж адверсцямі ўваходу i і выхаду j , м; $T_{\text{н-час}}$ – коштаваць нормачаса аперацыі



Рис. 2. График зависимости составляющей $\Pi_{\tilde{p}}^{ij}$ (стоимость затраченной энергии на гидравлические потери давления в каналах СММ) при проходе рабочей жидкости между отверстиями входа i и выхода j (область Парето):

1 – верхняя граница области Парето; 2 – нижняя граница области Парето

Fig. 2. The component graph of the CMM channel structure component $\Pi_{\tilde{p}}^{ij}$ (the cost of energy spent on hydraulic pressure losses in the CMM channels) during the passage of the working fluid between the inlet holes i and outlet j (Pareto region):

1 – the upper boundary of the Pareto region; 2 – the lower boundary of the Pareto region

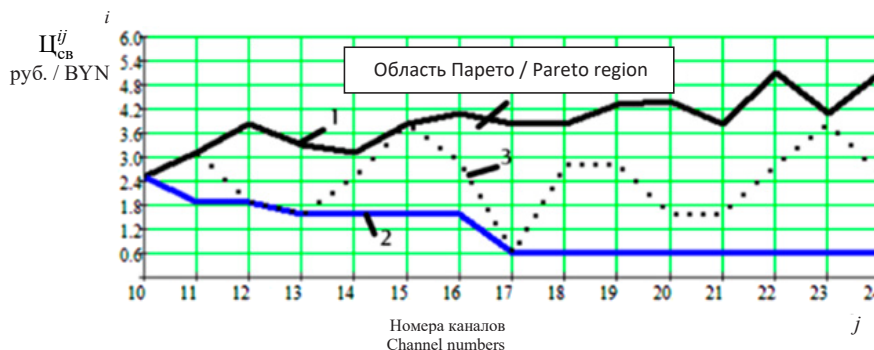


Рис. 3. График зависимости затрат $\Pi_{\text{св}}^{ij}$ (стоимости сверления каналов СММ (область Парето)); пунктирная линия – стоимость сверления каналов, имеющих 9-е входное отверстие; 1 – верхняя граница области Парето; 2 – нижняя граница области Парето; 3 – стоимость сверления каналов, имеющих 9-е входное отверстие

Fig. 3. The graph for drilling CMM channels (cost of drilling channels CMM – Pareto region) $\Pi_{\text{св}}^{ij}$; the dotted line is the cost of drilling channels, the unique 9th inlet; 1 – upper boundaries of the Pareto region; 2 – the lower boundary of the Pareto region; 3 – the cost of drilling channels, the presence of a 9th inlet

сверления, $T_{\text{н-час}} = 0,457$ руб/ч [12]. Используя полученные значения Π_9^{ij} (см. рис. 2) и $\Pi_{\text{св}}^{ij}$ (рис. 3), можно выполнить расчеты стоимости структуры каналов Π_{ij} .

Анализ графиков на рис. 2 и 3 показывает, что на начальных этапах эксплуатации СММ расходы на сверление каналов и $\Pi_{\text{св}}^{ij}$ превосходят расходы на затраты энергии Π_9^{ij} в 10–30 раз. Вместе с тем срок эксплуатации ГУ как правило составляет 10 лет и более, то есть затраты на изготовление СММ в данном случае будут являться одноразовыми и иметь постоянную величину, а вот затраты энергии (Π_9^{ij}) будут многократно возрастать.

Заключение. Таким образом, как показывают результаты исследований, за год эксплуатации изделия при двусменной работе оборудования (годовой фонд рабочего времени – 4018 ч) соотношение Π_9^{ij} увеличивается в 300 раз по отношению к $\Pi_{\text{св}}^{ij}$, при том что срок эксплуатации гидроблоков управления, как правило, составляет 10 лет и более. То есть при назначении коэффициентов важности критериев C_1 – C_4 по формуле (1), учитывая длительность срока эксплуатации соединительно-монтажного модуля, которая может достигать 10 лет и более, затратами на стоимость материала и обработки заготовки данного модуля можно пренебречь. При этом расчет и разработку конструкции СММ можно вести исключительно на основе учета гидравлических потерь давления в его каналах.

Предложенный подход применим при проектировании монтажного корпуса гидроблоков управления машин, а также компонентов и систем на их основе приводов оборудования различного назначения.

Список использованных источников

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: респ. межведомств. сб. науч. тр. – Минск: Технопринт, 2004. – Т. 1, вып. 2. – С. 47–50.
3. Chen, J. Design and Optimization of Mounting Housing for Machine Control Units in Harsh Environments / J. Chen, Z. Li, Q. Wang // Journal of Engineering Design. – 2021. – Vol. 32, Iss. 12. – P. 789–803.
4. Li, Z. Topology Optimization of Mounting Frame for Machine Tool Control Units in Harsh Environment / Z. Li, J. Chen, Q. Wang // Structural and Interdisciplinary Optimization. – 2021. – Vol. 64, Iss. 4. – P. 1529–1543.
5. Chen, J. Parametric optimization of mounting frame for machine tool control units under harsh environments / J. Chen, Z. Li, Q. Wang // Engineering Optimization. – 2022. – Vol. 54, Iss. 1. – P. 123–140.
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 // Вестник Гомельского государственного технического университета имени 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: Гомел. госуд. техн. ун-т 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 // Вестник МГСУ. – 2010. – Вып. 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.
11. Создание конструкций гидроприводов машин методом агрегатирования / А. Я. Оксененко, А. Е. Окунев, В. В. Пинчук [и др.]. – М.: НИИМАШ, 1985. – 77 с.
12. Справочник технолога машиностроителя: в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мещярокова. – 4-е изд. – М.: Машиностроение, 1986. – Т. 1. – 656 с.

References

1. Sveshnikov V. K. *Machine Tool Hydraulic Drives: Reference Book*. 4th ed. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2004. 510 p. (in Russian).
2. Krasnevsky L. G. The role of high-tech components in mechanical engineering. *Sovremennye metody proektirovaniya mashin: resp. mezhvedomstv. sb. nauch. tr.* [Modern Methods of Machine Design: Republican Interdepartmental Collection of Scientific Papers]. Minsk, Tekhnoprint Publ., 2004, vol. 1, iss. 2, pp. 47–50 (in Russian).
3. Chen J., Li Z., Wang Q. Design and Optimization of Mounting Housing for Machine Control Units in Harsh Environments. *Journal of Engineering Design*, 2021, vol. 32, iss. 12, pp. 789–803.

4. Li Z., Chen J., Wang Q. Topology Optimization of Mounting Frame for Machine Tool Control Units in Harsh Environment. *Structural and Interdisciplinary Optimization*, 2021, vol. 64, iss. 4, pp. 1529–1543.
5. Chen J., Li Z., Wang Q. Parametric optimization of mounting frame for machine tool control units under harsh environments. *Engineering Optimization*, 2022, vol. 54, iss. 1, pp. 123–140.
6. Pinchuk V. V., Andreev S. F., Inozemtseva E. V. Minimization of hydraulic pressure losses in the channels of the connecting and mounting module when constructing structural diagrams of modular hydroblocks for controlling technological equipment. *Vestnik Gomel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta imeni P. O. Sukhogo* [Bulletin of the P. O. Sukhoi State Technical University], 2016, no. 4, pp. 41–45 (in Russian).
7. Pinchuk V. V., Sheleg V. K. *Calculation and Design of Aggregate-Modular Hydraulic Control Units for Hydraulic Drives of Technological Machines*. Gomel', P. O. Sukhoi State Technical University, 2010. 270 p. (in Russian).
8. Azashikov M. S., Emtyl Z. K., Tatarenko A. P. Influence of elastic connection between hydraulic cylinder elements on the dynamic load of the boom group. *Novye tekhnologii = New Technologies*, 2007, no. 3, pp. 95–96 (in Russian).
9. Orlov E. V., Shlychkov D. I., Orlov V. A. Automated program for calculating the hydraulic parameters of a pipeline during the renovation of alternative coatings. *Vestnik MGSU*, 2010, iss. 1, pp. 231–234 (in Russian).
10. Kokhanenko V. N., Papchenko I. V., Papchenko N. G. Model for calculating flow parameters at the entrance to the expansion. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskii region. Tekhnicheskie nauki* [News of Universities. North Caucasus Region. Technical Sciences], 2008, no. 4, pp. 140–143 (in Russian).
11. Oksenenko A. Ya., Okunev A. E., Pinchuk B. V. [et al.]. *Creation of Designs for Hydraulic Drives of Machines Using the Aggregation Method*. Moscow, Research and Development Institute of Mechanical Engineering, 1985. 77 p. (in Russian).
12. Kosilova A. G., Meshcharokov R. K. (eds.). *Handbook of a Machine Builder Technologist. Vol. 1*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1986. 656 p. (in Russian).