

ориентацией кристаллических зерен перпендикулярно направлению, в котором образцы растягивались при этой температуре. На рис. 4 и 5 показана эта потенциальная зависимость, где при температуре 200 °С наблюдается минимальное значение как прочности, так и процентной кристалличности. При рассмотрении температурной зависимости прочности материала тенденция изменения прочности при растяжении в зависимости от кристалличности не прослеживается. После печати материала при температуре 215 °С прочность на разрыв становится выше, но процент кристалличности ниже критической кристалличности при 210 °С. Из-за слоистой природы процесса 3D-печати более высокая температура печати может дать различным слоям больше времени для сцепления друг с другом перед охлаждением до температуры стеклования.

Согласно результатам данного исследования для каждого цвета существует критическая температура печати для оптимизации кристалличности, исходя из результатов для белого материала. В будущем необходимо исследовать влияние температуры печати в зависимости от других цветов, чтобы создать матрицу свойств, позволяющую провести более полный выбор материала.

#### Литература

1. Polymer Recycling Codes for Distributed Manufacturing with 3D printers / E. J. Hunt [et al.] // Resources, Conservation and Recycling. – 2015. – Vol. 97. – P. 24–30.
2. Mobile Open-Source Solar-Powered 3D Printers for Distributed Manufacturing in Off-Grid Communities / D. L. King [et al.] // Challenges in Sustainability . – 2014. – N 2 (1). – P. 18–27.
3. Groenendyk, M. 3D printing and scanning at the Dalhousie University Libraries: a pilot project / M. Groenendyk, R. Gallant // Libr. Hi Tech. – 2013. – N 31 (1). – P. 34–41.

УДК 62-82-112.6

## **РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ МОНТАЖНОГО КОРПУСА ГИДРОБЛОКОВ УПРАВЛЕНИЯ МАШИН**

**В. В. Пинчук**

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

**А. А. Гинзбург**

*Открытое акционерное общество «Гомельское специальное  
конструкторско-техническое бюро гидроннеавтоматики»,  
Республика Беларусь*

**О. К. Гурбан**

*Учреждение образования «Гомельский государственный  
профессионально-технический колледж электротехники»,  
Республика Беларусь*

*Получены значения критерия оптимальности монтажного корпуса гидроблока управления машин, позволяющие выполнить параметрический синтез гидроблока управления с учетом условий эксплуатации машин и количества гидроаппаратов в гидросхеме привода.*

**Ключевые слова:** гидроблоки управления, технологические машины, параметрический синтез.

## CALCULATION AND DESIGN OF THE MOUNTING HOUSING FOR HYDRAULIC CONTROL UNITS OF MACHINES

V. V. Pinchuk

*Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

A. A. Ginzburg

*Open Joint Stock Company "Gomel Special Design and Technical Bureau of Hydropneumautomatics", the Republic of Belarus*

O. K. Gurban

*Educational Institution "Gomel State Vocational College of Electrical Engineering", the Republic of Belarus*

*The values of the criterion of optimality of the mounting body of the hydraulic control unit of machines are obtained, which make it possible to perform a parametric synthesis of the hydraulic control unit, taking into account the operating conditions of the machines and the number of hydraulic devices in the hydraulic circuit of the drive.*

**Keywords:** hydraulic control units, technological machines, parametric synthesis.

Совершаемый в последнее время переход к агрегатному конструированию и в дальнейшем развивающаяся тенденция агрегатно-модульного конструирования гидроблоков управления (ГУ) гидроприводов технологических машин позволяет снизить негативное влияние фактора вариативности процесса проектирования на выходные показатели создаваемых ГУ (материало- и энергоемкость, затраты и сроки создания).

В свою очередь, внедрение в практику конструирования агрегатно-модульного подхода при создании гидроблоков управления гидроприводов технологического оборудования ставит задачу выработки рекомендаций оптимального их проектирования.

Вместе с тем при разработке конструкций гидроаппаратов монтажные корпуса, как правило, во внимание не принимаются, что ухудшает показатели конструкций ГУ в целом.

Установлено [1–3], что разработка и обоснование параметров монтажных корпусов гидроблоков управления позволяет выполнить проектирование гаммы компонентов агрегатно-модульных ГУ. Для оптимизации параметров монтажного корпуса гидроблоков управления получено выражение общего критерия оптимальности:

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

где  $C_1$ – $C_4$  – коэффициенты взаимной важности критериев, назначаемые экспертным путем;  $\Delta P_B$  – потери давления в вертикальных каналах монтажного корпуса, далее соединительно-монтажного модуля (СММ);  $\Delta P_\Gamma$  – потери давления в горизонтальных каналах СММ;  $V$  и  $S$  – соответственно объем и полная поверхность СММ;  $\Delta P_B^*$ ,  $\Delta P_\Gamma^*$ ,  $V^*$ ,  $S^*$  – нормирующие множители.

Однако общий критерий оптимальности СММ (1) лишь сужает допустимое множество вариантов проектируемой конструкции соединительно-монтажного модуля, задавая в нем множество компромиссных оптимальных проектов – область Парето. То есть оптимизировать параметры СММ возможно на основе исследований

общего критерия оптимальности  $X$ , используя в качестве варьируемых параметров коэффициенты важности критериев  $C_1$ – $C_4$  и соотношения диаметров вертикальных  $d_v$  и горизонтальных  $d_r$  каналов,  $d_v/d_r$  [3]. Результаты таких исследований критерия  $X$  позволяют разработать алгоритм проектирования компонентов агрегатно-модульных ГУ для машин с различными условиями эксплуатации. Вместе с тем процесс оптимизации параметров СММ при таком подходе, без учета технологии его изготовления, существенно затруднен, так как в этом случае приходится рассматривать чрезмерно большое количество значений критерия оптимальности  $X$ .

Целью настоящего исследования является упрощение процесса оптимизации параметров СММ.

**Методика проведения исследований.** Для решения поставленной задачи проведем анализ общего критерия оптимальности СММ (1). При этом анализ формулы будем проводить с учетом технологического процесса (ТП) его изготовления, который в общем случае включает следующие операции: 1 – вертикально фрезерная (черновая); 2 – горизонтально фрезерная (черновая); 3 – шлифовальная (черновая); 4 – сверлильная; 5 – шлифовальная (чистовая).

Параметры, составляющие формулу (1), имеют разные размерности, но для упрощения расчета приведем их к стоимостному выражению. Для этого объем заготовки  $V$  будем отражать как стоимость использованного металла  $C_m$ . Площадь  $S$  обработанной поверхности СММ также отразим как стоимость обработки поверхностей  $C_o$ , используя стоимость нормочаса операций 1–3, 5 технологического процесса изготовления СММ. Потери мощности при проходе рабочей жидкости по каналам СММ, связанные с гидравлическими потерями давления  $\frac{\Delta P_B}{\Delta P_B^*} + \frac{\Delta P_r}{\Delta P_r^*}$ , определим

как стоимость энергии  $C_e$ , используя стоимость единицы мощности (например, кВт/ч электроэнергии).

Однако, учитывая ТП изготовления СММ, нам необходимо учесть операцию 4 – сверлильную. Для этого введем понятие «структура каналов СММ», которая учитывая ТП его изготовления, будет включать стоимость сверления каналов  $C_{cb}$ , ее можно опделить на основе учета конфигурации каналов СММ, полученной при расчетах минимальных гидравлических потерь давления [2]. То есть в дальнейшем будем рассматривать:

$\frac{C_V}{C_V^*}$  – как отношение стоимостей объема первоначальной заготовки;

$\frac{C_S}{C_S^*}$  – как отношение стоимостей площадей обработанных поверхностей СММ;

$\frac{C_{cb}}{C_{cb}^*} + \frac{C_e}{C_e^*}$  – как стоимость структуры каналов СММ (включает стоимость

потерь энергии при проходе рабочей жидкости по каналам СММ и стоимость сверления этих каналов).

Таким образом, рубль (например) будет являться единым параметром для всех частей уравнения (1), а оптимизация будет сводиться к расчету минимальной стоимости готового изделия.

Формула (1) примет следующий вид:

$$X = \left( C_1 \frac{\Pi_M}{\Pi_M^*} + C_2 \frac{\Pi_o}{\Pi_o^*} + C_3 \frac{\Pi_{св}}{\Pi_{св}^*} + C_4 \frac{\Pi_э}{\Pi_э^*} \right) \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $\Pi_M$  – стоимость материала, руб.;  $\Pi_o$  – стоимость обработки (за операции фрезеровки и шлифовки), руб.;  $\Pi_{св}$  – стоимость операции сверления каналов СММ, руб.;  $\Pi_э$  – цена затраченной энергии на гидравлические потери давления в каналах СММ, руб.

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, например, из общедоступных справочников [4]. В то же время оптимизация стоимости структуры каналов вызывает определенные затруднения из-за вариативности.

Анализ графиков на рис. 1 показывает, что на начальных этапах эксплуатации СММ расходы на сверления каналов  $\Pi_{св}^{ij}$  превосходят расходы на затраты энергии  $\Pi_э^{ij}$  в пределах 10–30 раз. Однако, если учитывать весь срок эксплуатации изделия, то даже за год эксплуатации при двухсменной работе оборудования (годовой фонд рабочего времени – 4018 ч) это соотношение резко изменяется в сторону увеличения  $\Pi_э^{ij}$  против  $\Pi_{св}^{ij}$  свыше 300 раз.

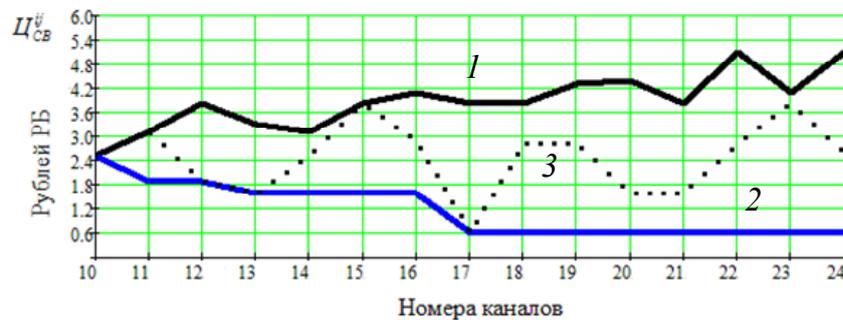


Рис. 1. Стоимость затрат  $\Pi_{св}^{ij}$  на сверление каналов СММ (область Парето):

- 1 – стоимость затрат на сверление каналов СММ (верхняя граница области Парето);
- 2 – минимальная стоимость затрат на сверление каналов СММ;
- 3 – стоимость сверления каналов СММ, имеющих 9-е входное отверстие

Таким образом, при назначении коэффициентов важности критериев  $C_1$ – $C_4$  по формуле (1), учитывая длительность срока эксплуатации СММ, которая может достигать 10 лет и более, затратами на стоимость материала (которая находится на уровне затрат на обработку) и обработку заготовки СММ можно пренебречь, а расчет и выбор оптимальной конструкции СММ вести исключительно на основе учета  $\Pi_э^{ij}$ .

#### Литература

1. Создание конструкций гидроприводов машин методом агрегатирования / А. Я. Оксененко [и др.]. – М. : НИИМАШ, 1985. – 77 с.
2. 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. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2016. – № 4. – С. 41–45.
3. Пинчук, В. В. Расчет и конструирование агрегатно-модульных гидроблоков управления гидроприводов технологических машин / В. В. Пинчук, В. К. Шеле. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2010. – 270 с.
4. Справочник технолога машиностроителя : в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой, Р. К. Мешярокова. – 4-е изд. – М. : Машиностроение. – 1986. – Т. 1. – 656 с.

УДК 004.942:532

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ  
С АДАПТАЦИЕЙ К НАГРУЗКЕ В ПРОГРАММЕ  
LMS Imagine.Lab AMESim**

**А. С. Колодко, Ю. А. Андреев**

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

*Исследованы возможности применения программы LMS Imagine.Lab AMESim для моделирования гидравлических систем с адаптацией к нагрузке. Применение программы LMS Imagine.Lab AMESim позволяет в короткие сроки исследовать системы без физической модели, а также позволяет сразу оптимизировать систему. Помимо исследования отдельного элемента также можно исследовать несколько систем одновременно и то, как они между собой взаимодействуют. Возможности данного продукта позволяют проводить моделирование не только гидравлических систем, но и систем других видов. Произведено компьютерное моделирование гидравлической системы с объемной адаптацией к нагрузке и дроссельным регулированием, получены характеристики систем с установкой дросселя на напорной и сливной гидролиниях, произведено сравнение параметров гидросистем.*

**Ключевые слова:** гидропривод, моделирование, адаптация к нагрузке, LMS Imagine.Lab AMESim.

**SIMULATION OF THE HYDRAULIC SYSTEM  
WITH ADAPTATION TO THE LOAD  
IN THE LMS Imagine.Lab AMESim PROGRAM**

**A. S. Kolodko, YU. A. Andreyevets**

*Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus*

*The possibilities of using the LMS Imagine.Lab AMESim program for modeling hydraulic systems with load adaptation are studied. The use of the LMS Imagine.Lab AMESim program allows you to quickly investigate systems without a physical model, and also allows you to immediately optimize the system. In addition to studying a single element, it is also possible to study several systems at the same time and how they interact with each other. The capabilities of this product allow you to simulate not only hydraulic systems, but also systems of other types. A computer simulation of a hydraulic system with volumetric adaptation to the load and throttle control was performed, the characteristics of systems with a throttle installed on the pressure and drain hydraulic lines were obtained, and the parameters of the hydraulic systems were compared.*

**Keywords:** hydraulic system, simulation, load adaptation, LMS Imagine.Lab AMESim.

AMESim – это система моделирования, позволяющая виртуально оценивать и оптимизировать производительность систем. Это возможность оптимизировать динамическое поведение гидравлических и пневматических компонентов, делая физическое прототипирование необязательным. Благодаря широкому выбору компонентов, функций и инструментов, Simcenter позволяет моделировать жидкостные системы широкого спек-