

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 «Гомельское специальное конструкторско-техническое бюро гидропневмоавтоматики», Республика Беларусь

## ВЫБОР КРИТЕРИЕВ ОПТИМАЛЬНОСТИ ГИДРОБЛОКОВ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Создание конструкций гидроблоков управления машин и механизмов на основе гидравлической схемы привода является одной из основных задач при его проектировании. Анализ вариантов технических решений гидроблоков управления и упрощение процесса их проектирования достигается за счет усреднения отдельных показателей и параметров путем классификации гидроприводов. Вместе с тем при составлении принципиальной гидросхемы, являющейся основой для проектирования гидроблоков управления, рассматриваются только гидроаппараты, где учитывается их функциональное назначение и величина условного прохода, определяемая исходя из рекомендуемой скорости потока рабочей жидкости. Однако в состав гидроблоков управления кроме гидроаппаратов входят и монтажные корпуса, параметры которых также необходимо учитывать. Для выполнения параметрической оптимизации монтажного корпуса гидроблоков управления в расчетную модель оптимизации гидроблоков управления должны быть включены объем гидроблока управления и его масса, гидравлические потери давления в гидроблоке управления (энергетические характеристики), трудоемкость и стоимость изготовления, а также приняты ограничения (количество подлежащих уплотнению отверстий на одной стыковой плоскости и уровень унификации разрабатываемой системы блоков).*

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

**Введение.** Создание конструкций гидроблоков управления (ГУ) машин и механизмов на основе гидравлической схемы привода является одной из основных задач при его проектировании. Решить эту задачу возможно только на основе учета факторов, оказывающих влияние на эффективность ГУ, среди которых систематические изменения:

- принципиальных гидросхем, вызванных конструктивными особенностями технологических машин;
- присоединительных размеров гидроаппаратов, вызванных их параметрической оптимизацией;
- граничных условий, исходящих от используемых в них ГУ аппаратами и устройствами комплектуемой машины при их функционировании;
- ошибки при конструировании и выход параметров гидроблоков управления за допустимые пределы, которые вызваны тем, что задачу поиска оптимальных структур ГУ решают на основе эвристического подхода.

Рациональное проектирование гидроблоков управления является предпосылкой того, чтобы, с одной стороны, они могли выполнять свои задачи, а с другой — функционировали с необходимой эксплуатационной надежностью. Большое количество требований при постановке задачи, а также многочисленные граничные условия и воздействующие факторы, исходящие от используемых в ГУ аппаратов и устройств при их функционировании, вынуждают разработчиков становиться на путь системного подхода. В связи с чем при проектировании гидроблоков управления возникают многочисленные варианты технических решений, которые должны быть проанализированы с целью выбора оптимального. Однако решение этой задачи представляет определенные трудности из-за вариативности структурных решений при конструировании ГУ.

**Постановка задачи.** Сократить количество подлежащих анализу вариантов технических решений гидроблоков управления и тем самым упростить процесс их проектирования позволяет ограничение и усреднение отдельных его показателей и параметров путем классификации гидроприводов машин. В работе [1] гидроприводы машин классифицированы по давлению, способу регулирования скорости движения исполнительных органов, виду циркуляции рабочей жидкости в гидросистеме, методу контроля при различных нарушениях в работе гидропривода.

С учетом классификации гидроприводов в работе [1, с. 452] приводится типовая последовательность этапов разработки гидроприводов, которая должна начинаться с анализа технического задания (ТЗ) технологической машины.

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

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

На основе принципиальной гидросхемы и выбранных гидроаппаратов и узлов выполняются проектирование гидропривода. При этом гидравлические схемы приводов современных машин, как правило, составляются из нормализованных аппаратов и агрегатов, серийно изготавливаемых специализированными заводами, что 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. Одной из наиболее часто встречающихся задач, которую необходимо решать при проектировании гидросистем технологических машин, является управление скоростью рабочего органа гидропривода. Для того, чтобы установить особенности построения гидравлических схем приводов машин, которые учитываются конструкторами в процессе разработки гидроблоков управления, нами были рассмотрены общеизвестные и наиболее распространенные схемы дроссельного регулирования скорости, приведенные на рисунке.

Как известно, существуют два основных способа управления скоростью рабочего органа гидропривода — дроссельный и машинный. Суть дроссельного регулирования скорости рабочего органа заключается во введении в гидросистему регулируемого сопротивления, величина которого тем или иным способом определяет величину расхода рабочей жидкости.

На рисунках *а, б* приведены схемы последовательной установки сопротивления (дросселя), на входе и выходе исполнительного органа соответственно, а на рисунке *в* — схема его параллельной установки («в ответвлении»). Регулирование скорости в каждой из этих схем имеет свои особенности, определяющие характер регулирования, давление и энергетические потери в системе.

Выполненный анализ гидравлических схем дроссельного регулирования показывает, что оптимизация гидросхем приводов сопровождается таким явлением как вариативность их построения. В рассмотренном случае использованы только два вида гидроаппаратов — дроссель и переливной клапан и получены при этом три варианта гидросхем, каждая из которых обладает определенными преимуществами для различных условий эксплуатации гидропривода. Вместе с тем в гидроприводах современных технологических машин, как правило, используется гораздо большее количество гидроаппаратов, которое обусловлено широким применением гидропривода в различных механизмах машин (зажима, вспомогательных операций, транспортных), что привело к огромному количеству вариантов гидравлических схем

приводов. Так как принципиальная гидросхема привода является основой для проектирования гидроблоков управления, вариативность гидросхем вызывает вариативность структурных решений ГУ, поиск которых, учитывая их количество, серьезно затруднен, что вызывает в свою очередь необходимость изготовления и исследований экспериментальных и опытных образцов ГУ.

Следовательно, в процессе конструирования как ГУ, так и гидроаппаратов необходимо учитывать фактор вариативности принципиальных гидросхем приводов.

Таким образом, гидроблок управления является составной частью гидросистемы, поэтому все требования, предъявляемые к гидроприводу, в равной степени относятся и к ГУ. Вместе с тем при составлении принципиальной гидросхемы, являющейся основой для проектирования гидроблоков управления, рассматриваются только гидроаппараты, где учитывается их функциональное назначение и величина условного прохода, определяемая исходя из рекомендуемой скорости потока рабочей жидкости [2]. Однако в состав ГУ кроме гидроаппаратов входят и монтажные корпуса, параметры которых также необходимо учитывать не только при конструировании гидроблоков управления как сборочной единицы гидропривода, но и в процессе создания самих гидроаппаратов.

**Методы исследований.** В общем случае исходным требованием при проектировании гидроблоков управления является получение конструкции, обеспечивающей минимум затрат на ее изготовление и эксплуатацию при удовлетворительных значениях надежности, т. е. математическую модель ГУ  $W$  можно выразить следующей формулой [1]:

$$W = \langle x, D, X \rangle, \quad (1)$$

где  $x$  — вектор управляемых переменных;  $D$  — множество допустимых вариантов проектируемой конструкции (т. е. конкретное значение  $x$ , определяемое некоторым числом ограничений);  $X$  — функционал цели, описывающий эффект от выбора того или иного варианта проектируемого гидроблоков управления.

Задача оптимизации ГУ состоит в определении значения  $X$ , удовлетворяющего условию:

$$\begin{aligned} X &\rightarrow \text{extr}, \\ x &\in D. \end{aligned} \quad (2)$$

ГУ является сложной технической системой, включающей гидроаппараты и монтажные корпуса, каждый из которых характеризуется своими признаками, в связи с чем для реализации условия (2) необходим выбор показателей качества ГУ и назначение критериальных ограничений.

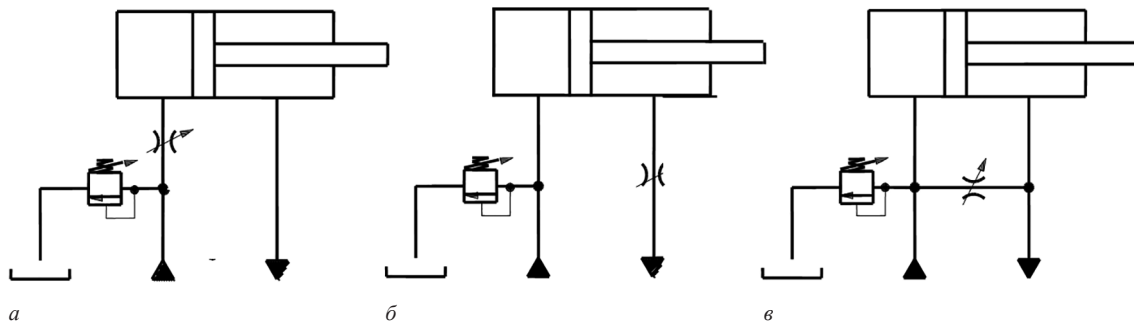


Рисунок — Схемы дроссельного регулирования скорости

Под признаками технической системы [4, с. 99] (гидроблока управления) понимаются характеристики ее свойств, причем они могут быть как качественными, так и количественными.

По способу определения они могут быть измеряемыми и оцениваемыми в баллах. К измеряемым показателям относятся: размерные (габаритные размеры всего ГУ и его составных частей), массы (конструктивная масса, общая масса). К показателям, оцениваемым в баллах, относятся способ монтажа и демонтажа.

Отработка конструкции ГУ на технологичность связана со снижением трудоемкости и себестоимости его изготовления, технического обслуживания и ремонта. Некоторые из приведенных показателей могут иметь абсолютные значения, другие — относительные и удельные.

Установленные признаки гидроблоков управления в процессе проектирования вступают в бинарные отношения с целями разработки. Описание, включающее цели и признаки, является концептуальным. Оно сводится к построению подмножества признаков, элементы которого вступают в бинарные отношения с элементами выбранного подмножества целей.

В настоящее время процедура определения основных признаков выполняется опытным конструктором, хорошо ориентирующимся в признаковом пространстве объектов конкретной области техники, и совмещается с разработкой технического задания [1, с. 498].

Совокупность частных признаков лишь сужает множество допустимых вариантов  $D$  проектируемых конструкций ГУ, задавая в нем область Парето — множество компромиссно-оптимальных проектов, оценки которых не могут быть улучшены одновременно по всем частным признакам. Область Парето является важной характеристикой многокритериальной задачи (многокритериальный оптимум всегда находится в области Парето) [4]. Однако эта область имеет слишком много элементов, поэтому для выбора оптимального варианта нужна дополнительная информация. Методы Парето, используемые для решения задач инженерного синтеза [4], позволяют оценивать решение по множеству противоречивых критериев и учитывать опыт конструктора при назначении критериальных ограничений. Выделение множества паретовских решений в ходе исследования пространства параметров ГУ существенно облегчает конструктору поиск оптимальных вариантов, особенно при синтезе структурно-сложных многопараметрических систем на заключительных его этапах.

Таким образом, оптимальные конструкции гидроблоков управления могут быть получены при установлении бинарных отношений сформулированных в статье цели и задач проектирования с определенным перечнем признаков ГУ. На основе учета результатов исследований конструктивных решений гидроблоков управления установлено [4, 7], что таковыми являются следующие признаки ГУ:

- занимаемый объем и его масса;
- трудоемкость и, соответственно, стоимость изготовления;
- гидравлические потери давления в системе (энергетические характеристики);
- надежность;
- шумоизлучение;
- герметичность ГУ, т. е. гидравлические утечки рабочей жидкости;
- способ монтажа системы элементов и уровень их унификации в ГУ.

Следует отметить, что приведенный перечень признаков оптимизации гидроблоков управления не включает в себя целый ряд показателей, связанных с изменением ПС, а также функциональными особенностями существующих приводов. Это связано с тем, что данные вопросы решаются на уровне оптимизации принципа действия привода и учитываются при разработке ПС гидроприводов, т. е. оптимизацию ГУ мы рассматриваем на уровнях структуры и параметров.

Так как элементная база гидроблоков управления еще не определена и сведения о ее возможностях и свойствах носят пока предположительный характер, то на этапе разработки структуры гидроблоков управления первый показатель в приведенном перечне мы можем, используя подход нисходящего проектирования, оценивать таким параметром, как объем  $V$  монтажных корпусов (учитывая конструктивное устройство ГУ, которое других элементов кроме гидроаппаратов и монтажных корпусов не содержит). В этом случае оптимальным параметрам гидроблоков управления будет отвечать минимальное значение  $V$ . Трудоемкость же изготовления ГУ, которую мы можем учитывать на этом этапе разработки, зависит от размеров поверхностей  $S$  монтажных корпусов, обрабатываемых в процессе их изготовления. От размера поверхностей  $S$  зависит и шумоизлучение, т. е. для удовлетворения требованиям минимальных значений стоимости и шумоизлучения размеры поверхностей монтажных корпусов также должны быть минимальны.

Гидравлические потери давления  $\Delta p$  при проходе жидкости по каналу с диаметром  $d$  определяют по известной формуле Дарси [5]:

$$\Delta p = \lambda \frac{l}{d} \rho \frac{v^2}{2}, \quad (3)$$

где  $\lambda$  — коэффициент Дарси;  $l$  — длина канала;  $\rho$  — плотность жидкости;  $v$  — средняя скорость течения жидкости по каналу:

$$v = 4Q/\pi d^2, \quad (4)$$

где  $Q$  — расход жидкости по каналу.

Если увеличивать расход рабочей жидкости в гидросистеме то, как следует из уравнения (4), потери давления в ГУ уменьшаются с увеличением диаметров каналов, а объем и размеры поверхностей монтажных корпусов будут увеличиваться, что требует поиска компромиссно-оптимальных вариантов.

Увеличение давления в гидросистеме также увеличивает объем и размеры поверхностей монтажных корпусов, т. к. безотказность для блочных способов монтажа проектировщики рассчитывают из условия достаточной прочности крепежных элементов (шпилек, болтов) при подаче в каналы ГУ рабочей жидкости под давлением, а также конструктивно задаваемых размеров стенок между смежными каналами в корпусах [4].

Вместе с тем получить одновременно оптимальные значения всех перечисленных ранее признаков ГУ невозможно из-за противоречия параметров, возникающих по следующим причинам:

- габаритные и присоединительные размеры компонентов должны обеспечивать собираемость агрегатно-модульных гидроблоков управления, что не позволяет минимизировать все их размеры без исключения;
- с повышением давления в гидросистеме, а также улучшением энергетических характеристик ГУ увеличива-

ются их габаритные размеры и вес, повышается трудоемкость изготовления.

Таким образом, если учесть перечисленные признаки гидроблоков управления, выражение (1) будет содержать параметры, между которыми необходим поиск оптимально-компромиссных решений. Установлено [4], что для выполнения параметрической оптимизации ГУ в расчетную модель оптимизации гидроблоков управления (1) должны быть включены: объем ГУ и его масса, гидравлические потери давления ГУ в системе (энергетические характеристики), трудоемкость и стоимость изготовления, а также приняты ограничения (количество подлежащих уплотнению отверстий на одной стыковой плоскости и уровень унификации в ГУ разрабатываемой системы блоков).

### Список литературы

1. Свешников, В.К. Станочные гидроприводы: справ. / В.К. Свешников. — 5-е изд. перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 2008. — 639 с.
2. Дабагян, А.В. Оптимальное проектирование машин и сложных устройств / А.В. Дабагян. — М.: Машиностроение, 1979. — 279 с.
3. Пинчук, В.В. Обобщенные модели гидроблоков управления / В.В. Пинчук // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. — 2007. — № 2. — С. 58–63.
4. 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(67). — С. 41–45.
5. Пинчук, В.В. Расчет и проектирование агрегатно-модульных гидроблоков управления гидроприводов технологических машин / В.В. Пинчук, В.К. Шелег. — Гомель: ГГТУ им. П.О. Сухого, 2010. — 270 с.
6. Пинчук, В.В. Проектирование компонентов агрегатно-модульных гидроблоков управления гидроприводов технологических машин / В.В. Пинчук, С.Ф. Андреев, А.В. Пархоменко // Вестн. ГГТУ им. П.О. Сухого. — 2010. — № 1(40). — С. 39–48.
7. Пинчук, В.В. Расчет присоединительных размеров компонентов агрегатно-модульных гидроблоков управления гидроприводов технологических машин / В.В. Пинчук, А.В. Марухленко, Д.Г. Ворочкин // Вестн. ГГТУ им. П.О. Сухого. — 2013. — № 1(52). — С. 20–25.
8. Алгоритм проектирования системы компонентов агрегатно-модульных гидроблоков управления гидроприводов технологических машин / В.В. Пинчук [и др.] // Вестн. ГГТУ им. П.О. Сухого. — 2013. — № 2. — С. 25–30.
9. Справочник технолога машиностроителя: в 2 т. / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мешярокова. — 4-е изд. — М.: Машиностроение, 1986. — Т. 1. — 656 с.
10. Создание конструкций гидроприводов машин методом агрегатирования: методические рекомендации / А.Я. Оксененко [и др.]. — М.: ВНИИМАШ, 1985. — 79 с.

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

### Selection of optimality criteria for hydraulic control units of technological equipment

Design creation of hydraulic control units of machines and mechanisms based on the hydraulic circuit of the drive is one of the main tasks in its designing. The analysis of variants of technical solutions for hydraulic control units and simplification of the designing process are achieved by averaging individual indicators and parameters by the classification of hydraulic drives. However, when compiling a fundamental hydraulic diagram, which serves as the basis for designing hydraulic control units, only hydraulic units are considered, taking into account their functional purpose and the magnitude of the conditional passage, determined based on the recommended flow rate of the working fluid. Nevertheless, in addition to hydraulic components, mounting housings are also included in the composition of hydraulic control units, the parameters of which also need to be taken into account. To perform the parametric optimization of the mounting housing of hydraulic control units, the calculation model for optimizing hydraulic control units should include: the volume and mass of the hydraulic control unit, hydraulic pressure losses in the hydraulic control unit (energy characteristics), manufacturing complexity and cost, as well as limitations are accepted (the number of sealable holes on one mating surface and the level of standardization of the developed block system).

Поступила в редакцию 05.07.2023.