

УДК 62-82-112.6(083.13)

## ПРОБЛЕМА СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА АГРЕГАТНО-МОДУЛЬНЫХ ГИДРОБЛОКОВ УПРАВЛЕНИЯ И ПУТИ ЕЕ РЕШЕНИЯ

**В. В. ПИНЧУК**

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

### **Введение**

Задача коренного улучшения качества выпускаемой продукции на основе широкого внедрения высокопроизводительного оборудования и прогрессивных технологических процессов подразумевает необходимость осуществления мероприятий по созданию машин, оборудования и приборов на основе унифицированных блочных, блочно-модульных и базовых конструкций, по увеличению выпуска многофункциональных видов техники, комплектующих изделий для гибких производственных систем, промышленных роботов и средств автоматизации. В сущности, стоит вопрос о переходе к технике нового поколения на базе агрегатов и модулей, т. е. унифицированных узлов, состоящих из взаимозаменяемых деталей массового производства и выполняющих относительно самостоятельную функцию в различного рода технических устройствах.

Известные преимущества гидропривода перед приводами других типов предопределили его бурное развитие и широкое внедрение в различных областях техники. В настоящее время гидропривод является одним из основных средств автоматизации и механизации различных технологических процессов.

Расширение использования гидропривода привело к качественным изменениям в конструкциях гидрооборудования и принципах построения приводов. Возникшее противоречие между все возрастающим объемом и сложностью конструкторских работ по проектированию новых машин и оборудования и необходимостью постоянного сокращения сроков их создания и внедрения потребовало иных подходов при конструировании и изготовлении гидроблоков управления (ГУ) приводов. Наиболее полно современным требованиям развития машиностроения соответствует агрегатно-модульная система их построения, обеспечивающая реализацию различных видов машин и оборудования на основе унифицированных узлов.

Предпринятые попытки создания систем агрегатно-модульного конструирования ГУ привели к появлению гаммы модульной гидроаппаратуры, системы продольного монтажа и унифицированных функциональных блоков вертикального (башенного) монтажа [1], которые, однако, не в полной мере удовлетворяют запросам проектировщиков, изготовителей и потребителей ГУ. Из-за значительного увеличения габаритных размеров, металлоемкости и стоимости ГУ разработаны и изготавливаются серийно в настоящее время элементы системы продольного монтажа и модульная гидроаппаратура только на малые условные проходы ( $D_u = 6$  и  $10$  мм). Унифицированные функциональные блоки вертикального монтажа не обладают в достаточной степени уровнем унификации входящих элементов, что практически исключает возможность централизованного их производства. В свою очередь, при создании гидроаппаратов конструкторы стремятся получить наивысшие показатели по отдельным гидроаппара-

там, без учета совместного их использования в ГУ. С целью обеспечения взаимозаменяемости аппаратов различных фирм-производителей элементная база стандартизирована по присоединительным размерам (международные рекомендации по стандартизации CETOP, ISO4401, DIN24340, СТ СЭВ85195, ГОСТ 26890, ГОСТ 27790), что, учитывая изложенное выше, оказывает консервативное влияние на решение настоящей проблемы. В то же время ситуация в Беларуси в области компонентов, каковыми являются и гидроаппараты, характеризуется все расширяющимися масштабами применения импортной продукции, что, по утверждению Л. Г. Красневского, способно низвести любую страну до уровня стран третьего мира [2].

Отсутствие научных принципов агрегатно-модульного конструирования ГУ и совместимости модульных составных частей ограничивает потенциальные возможности этого приоритетного направления. В результате проектируемые ГУ обладают увеличенными габаритными размерами, ухудшаются показатели материало- и энергоемкости, увеличиваются сроки и затраты на проектирование и освоение изделий в производстве.

В связи с изложенным и учетом ключевых направлений, в разрезе специализации промышленности республики в области станкостроения «высококачественные гидро- и пневмоприводы» [2], можно утверждать, что потребности современного машиностроительного комплекса в более совершенной технике и технологии, автоматизации конструирования и производства гидрооборудования ставят перед специализированными организациями проблему разработки научных основ агрегатно-модульного конструирования и оптимизации параметров как гидроблоков управления машин и механизмов и их компонентов – стандартизированной элементной базы (гидроаппаратов).

### **Постановка задачи**

Проектирование гидроприводов в машиностроении осуществляется многими проектными организациями. Накоплен значительный опыт в этой области и разработано множество гидравлических схем для решения определенных задач в приводе.

Создание конструкций гидроблоков управления машин и механизмов на основе гидравлической схемы привода является одной из основных задач при его проектировании. Решение этой задачи на современном этапе развития народного хозяйства страны должно предусматривать как обеспечение выпуска стабильных по качеству устройств, так и сокращение периодов и сроков их создания и постановки на производство. Эта научно-техническая задача может быть успешно решена только при условии применения новых, более прогрессивных методов в организации проектирования и производства ГУ.

Рациональное проектирование является предпосылкой того, что гидроблок управления, с одной стороны, мог бы выполнять свои задачи, а с другой – функционировал 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 становиться на путь системного подхода. В связи с чем, естественно, при проектировании ГУ имеются различные варианты, которые необходимо выбирать.

С учетом классификации гидроприводов в [3, с. 452] приводится следующая типовая последовательность этапов их разработки.

Конструкция гидропривода и его основные параметры определяются типом машины, для которого он предназначен, поэтому разработка 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 указанием 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, а также, при необходимости, другие сведения (точности, дискретности перемещений, жесткость, вибрации, шум, качество переходных процессов, температура масла, точность гидравлического уравнивания, возможности регулировок, необходимость остановок гидродвигателей в промежуточных положениях, время выстоя и др.).

Далее 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 и т. п.); вводятся блокировки, исключая 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. Обычно 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 масла  $Q$ , проходящего по тому или иному участку гидросистемы, и рекомендуемой скорости потока рабочей жидкости. На основе принципиальной гидросхемы и выбранных гидроаппаратов и узлов выполняют проектирование гидропривода.

При этом гидравлические схемы приводов современных машин, как правило, состояются из нормализованных аппаратов и агрегатов серийно изготавливаемых специализированными заводами. Это позволило 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.

Как следует из анализа гидросистем машин и механизмов, а также принципов разработки гидросхем [4], процесс проектирования гидроблоков управления требует от конструктора знаний, выходящих за рамки обычной гидромеханики. В данном случае инженеру необходимо ознакомиться не только с основными техническими дисциплинами, но для проектирования ГУ различного назначения требуются детальное знание условий работы, технических процессов, обеспечиваемых изделиями, конструктивного устройства и характеристик работы комплектуемых машин и т. д.

Каждая из известных стратегий имеет свою область предпочтений, которыми руководствуются конструкторы при разработке оптимальных структур ГУ.

С учетом критериев эффективности на настоящий момент приоритетным направлением в методологии конструирования ГУ является блочный способ монтажа и

агрегатно-модульная система его построения, а задача поиска оптимальных технических решений ГУ не поддается пока известным математическим и логическим методам, и ее можно отнести к эвристическим.

Принимая во внимание изложенное, можно выделить следующие аспекты проблемы оптимального проектирования ГУ.

### Методы исследований

Интерес к эвристическим методам решения задач поиска оптимальных технических решений и, в частности, к комбинаторике в настоящее время сильно возрос. Идеи комбинаторики нашли отражение в широко известном методе «морфологического анализа» [5, с. 10].

Область возможных решений может быть обследована. Тогда любой новый ГУ окажется новой комбинацией известных компонентов (гидроаппаратов и монтажных корпусов).

Как следует из анализа способов монтажа ГУ, проблема их оптимального проектирования, как и любой другой технической системы, заключается в отыскании оптимальных структур на основе комбинаций, составляющих ее модульных элементов.

Методике оптимального проектирования технических систем уделяется большое внимание со стороны различных ученых.

Основные этапы проектирования по П. Хиллу представлены на рис. 1.

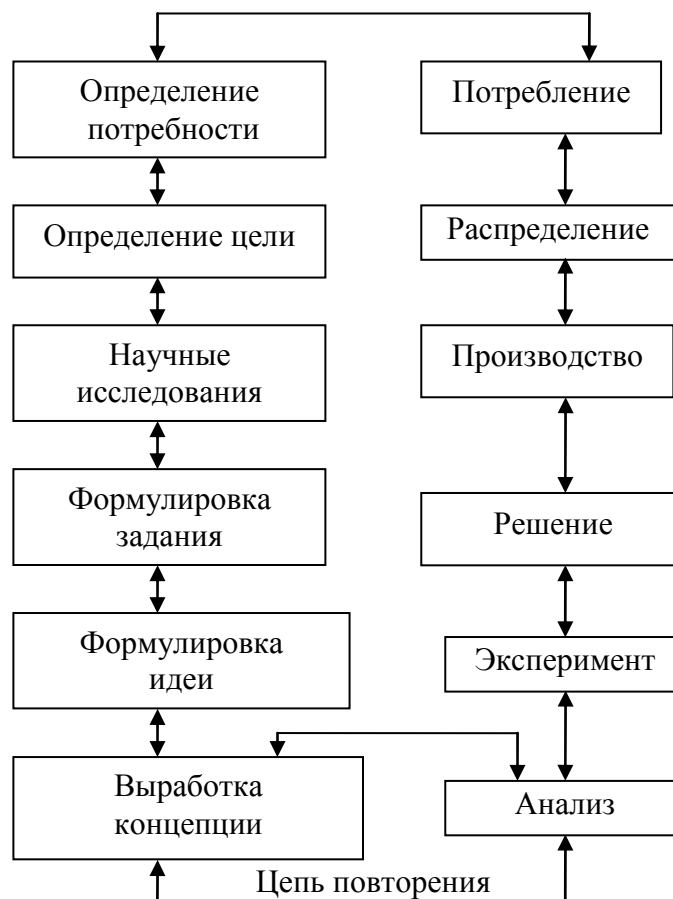


Рис. 1. Основные этапы проектирования [5]

Методы проектирования, рассмотренные П. Хиллом, позволяют в определенной степени организовать процесс создания агрегатно-модульных ГУ. Основными из них являются: наглядное представление заданной функции, служащее переходным зве-

ном между поставленной задачей и ее решением и способствующее расширению информационной основы творчества; диаграмма идей, дающая наглядное представление о развитии техники в интересующей области; матрица идей, представляющая собой средство морфологического анализа независимых переменных и позволяющая выработать различные сочетания характеристик проектируемого объекта, что порождает альтернативные идеи.

Особо следует остановиться на методе, связанном с принятием наилучших решений из совокупности вариантов. Он основывается на построении матрицы решений. Сущность метода заключается в выборе критериев для сравнения вариантов, определении их относительной значимости и оценки вариантов по каждому из критериев. Метод дает возможность сравнить варианты ГУ, представленные лишь гидравлическими схемами, не содержащими параметрической информации.

Особое значение П. Хилл придает морфологическому подходу к проектированию, связанному с логической организацией идей, что отличает его от традиционного подхода, основанного лишь на интуиции и опыте.

Холл А. [5], рассматривая методологические основы разработки систем, выделяет шесть процедур: уяснение задачи, выбор целей, синтез систем, анализ систем, выбор наилучших альтернатив, планирование действия.

Методами выполнения процедуры уяснения задачи являются: исследования потребностей и окружения, метод входов и выходов. Исследование потребностей связано с определением требований к проектируемой системе, на основе которых составляется общая программа разработки. При этом рассматриваются четыре основные направления планирования проектов: расширение и обновление функций, улучшение технических характеристик, снижение стоимости. Указанным направлениям, как следует из результатов анализа методов конструирования ГУ, наиболее полно соответствует блочный способ монтажа ГУ и агрегатно-модульное его построение.

В качестве методов синтеза систем А. Холл предлагает мобилизацию идей и функциональное проектирование. Мобилизация идей означает сбор всех известных альтернатив проектирования ГУ и выработку новых, с учетом достоинств и недостатков той или иной стратегии.

Функциональное проектирование представляет наиболее общий подход к описанию систем. Определяются граничные условия и желательные входы и выходы, составляется подробный перечень функций или операций, которые должны выполняться. Метод в упрощенном виде сводится в нашем случае к составлению блок-схемы решения проблемы структурного синтеза агрегатно-модульных гидроблоков управления.

На основе анализа гидросистем технологического оборудования, а также принципов построения гидравлических схем и тенденций развития в области разработок ГУ, цель исследований можно сформулировать следующим образом: разработать принципы структурного синтеза энергосберегающих гидроблоков управления гидросистем стационарных машин на основе улучшенных компонентов, позволяющих снизить затраты на их конструирование и производство.

Возросший интерес к методологии проектирования в последнее время вызван автоматизацией инженерного труда и, в частности, автоматизацией проектирования. Взаимосвязь этих научных направлений благотворно сказывается на каждом из них.

Автоматизация проектирования невозможна без знаний в области методологии. С другой стороны, автоматизация стимулирует развитие методов проектирования.

Первый этап проектирования ЭВМ связан с разработкой структурной схемы, реализующей принятый принцип ее действия и включающей такие крупные блоки,

как арифметическое устройство, основная память, устройство управления, логическое устройство, соединительная шина и др. На этом же этапе разрабатывается детальный список требований к схемам связи между элементами структурной схемы.

После окончательного выбора принципа действия и структурной схемы начинается детальная проработка элементов. Вслед за этим происходит синтез логической структуры и ее минимизация. Основными методами решения задач на этапах проектирования являются: логическое моделирование и теория графов, которые позволяют достаточно просто реализовать процесс формализации принципиальных гидравлических схем ГУ.

Подробный обзор этапов проектирования приведен в работе [5]. Ниже приводится перечень этапов, составляющих так называемый «обобщенный эвристический алгоритм». Каждый этап содержит несколько процедур. Структурное описание алгоритма представлено формулой

$$A_{об} = E1, E2, \dots, E17,$$

где  $A_{об}$  – обозначение обобщенного эвристического алгоритма;  $E1...E17$  – этапы проектирования.

В описание обобщенного эвристического алгоритма включается и обозначение массивов информации ( $M1, M2, \dots, M8$ ).

Этапы обобщенного эвристического алгоритма означают:  $E1$  – определение общественной потребности ( $M1, M2$ );  $E2$  – определение цели решения задачи;  $E3$  – предварительное изучение задачи ( $M3, M4$ );  $E4$  – сбор и анализ информации о задаче ( $M4$ );  $E5$  – исследование задачи;  $E6$  – выбор параметров объекта и предъявляемых к нему ограничений (требований) ( $M1$ );  $E7$  – уточнение формулировки задачи;  $E8$  – формулировка конечного результата;  $E9$  – выявление технических и физических противоречий в технической системе ( $M5$ );  $E10$  – выбор поисковых процедур и эвристических приемов ( $M6, M7$ );  $E11$  – поиск идей решения задачи;  $E12$  – анализ и проработка идей решения задачи ( $M3, M4$ );  $E13$  – выбор рациональных вариантов технического решения (ТР);  $E14$  – выбор наиболее рационального варианта ТР ( $M8$ );  $E15$  – развитие и упрощение ТР ( $M6$ );  $E16$  – анализ технико-экономической эффективности найденного ТР ( $M4$ );  $E17$  – обобщение результатов решения задачи.

Массивы информации означают:  $M1$  – список требований, предъявляемых к ТР;  $M2$  – список методов выявления недостатков в ТР;  $M3$  – фонд физических эффектов (ФЭ);  $M4$  – фонд ТР, включая последние наиболее эффективные решения;  $M5$  – список методов выявления причин возникновения недостатков в ТР;  $M6$  – фонд эвристических приемов;  $M7$  – список поисковых процедур;  $M8$  – список методов оценки и выбора вариантов ТР. При решении определенного класса задач, относящегося к группе областей техники и тем более к одной из них, авторы рекомендуют составлять частные алгоритмы, отличающиеся от обобщенного меньшим количеством процедур. В связи с этим процедуры разбиваются на универсальные, рекомендуемые к использованию в любом частном алгоритме, и частные, выбираемые с учетом специфики задачи.

Каждая процедура обобщенного и универсального алгоритма представляет собой определенную задачу проектирования. Стремясь к формализации процедур авторы разбивают их на следующие группы, в которых: 1) неизвестны ни входная, ни выходная информация, ни алгоритм переработки; 2) неизвестны входная информация и алгоритм переработки; 3) неизвестен алгоритм; 4) известны входная и выходная информация, алгоритм переработки.

Большинство процедур обобщенного алгоритма относится ко второй и третьей группе, в то время как формализовать можно лишь процедуры четвертой группы.

Основное внимание уделяется программированию эвристических приемов поиска новых технических решений. Основой таких приемов являются описание множества технических решений и оценка интересующих показателей любого технического решения из этого множества. Описание множества ТР может быть: 1) теоретико-множественное, описывающее ТР с помощью кортежей, соответствий, отношений и др.; 2) алгоритмическое, описывающее любой элемент множества ТР путем вычислений; 3) графическое, наглядно описывающее ТР чертежами, графиками и рисунками; 4) физическое, в котором элементы множества ТР представлены моделями.

Конструкции ГУ являются совокупностью устройств, связанных между собой определенными каналами передачи информации и энергии (мощности) или силового взаимодействия. По этой причине их можно рассматривать как систему автоматического управления. При этом оптимальность конструкции системы характеризуется критериями, носящими преимущественно комплексный характер: это концентрация мощности в единице объема, стоимость в зависимости от серийности, уровень унификации входящих элементов, использование принципа агрегатирования [6].

Проектирование технического объекта в соответствии с общепринятым определением – это создание, преобразование и представление в принятой форме образа этого еще не существующего объекта. Образ объекта или его составных частей может создаваться в воображении человека в результате творческого процесса или генерироваться в соответствии с некоторыми алгоритмами.

Для решения проблемы синтеза оптимальных структур агрегатно-модульных ГУ была разработана структурная схема (рис. 2), позволяющая установить иерархическую последовательность ее этапов.

Основные идеи и принципы проектирования сложных технических систем, к которым можно отнести и ГУ технологического оборудования, выражены в системно-техническом (системном) подходе.

Интуитивный подход проектирования ГУ без применения правил системного анализа является недостаточным для решения все более усложняющихся задач инженерной деятельности.

Основной общий принцип системного подхода заключается в рассмотрении частей явления или сложной системы с учетом их взаимодействия. Системный подход, как отмечено ранее, включает в себя выявление структуры системы, типизацию связи, определение параметров, анализ влияния внешней среды.

Интерпретация и конкретизация системного подхода имеют место в ряде известных подходов. Таковыми являются структурный и блочно-иерархический подходы [7, с. 6].

При структурном подходе, как разновидности системного, требуется синтезировать варианты системы из компонентов (блоков) и оценивать варианты при их частичном переборе с предварительным прогнозированием характеристик компонентов. Идеи структурного подхода на рис. 2 нашли выражение в последовательностях этапов: схемные решения гидроприводов машин → анализ и классификация принципиальных гидросхем, структурных контуров; принципы конструирования ГУ → анализ способов монтажа ГУ → аналитические исследования блочного монтажа. Комбинированные модели → агрегатирование ГУ при проектировании → теоретические и экспериментальные исследования → обобщенные математические модели → методические принципы конструирования ГУ → методика расчета и рекомендации.

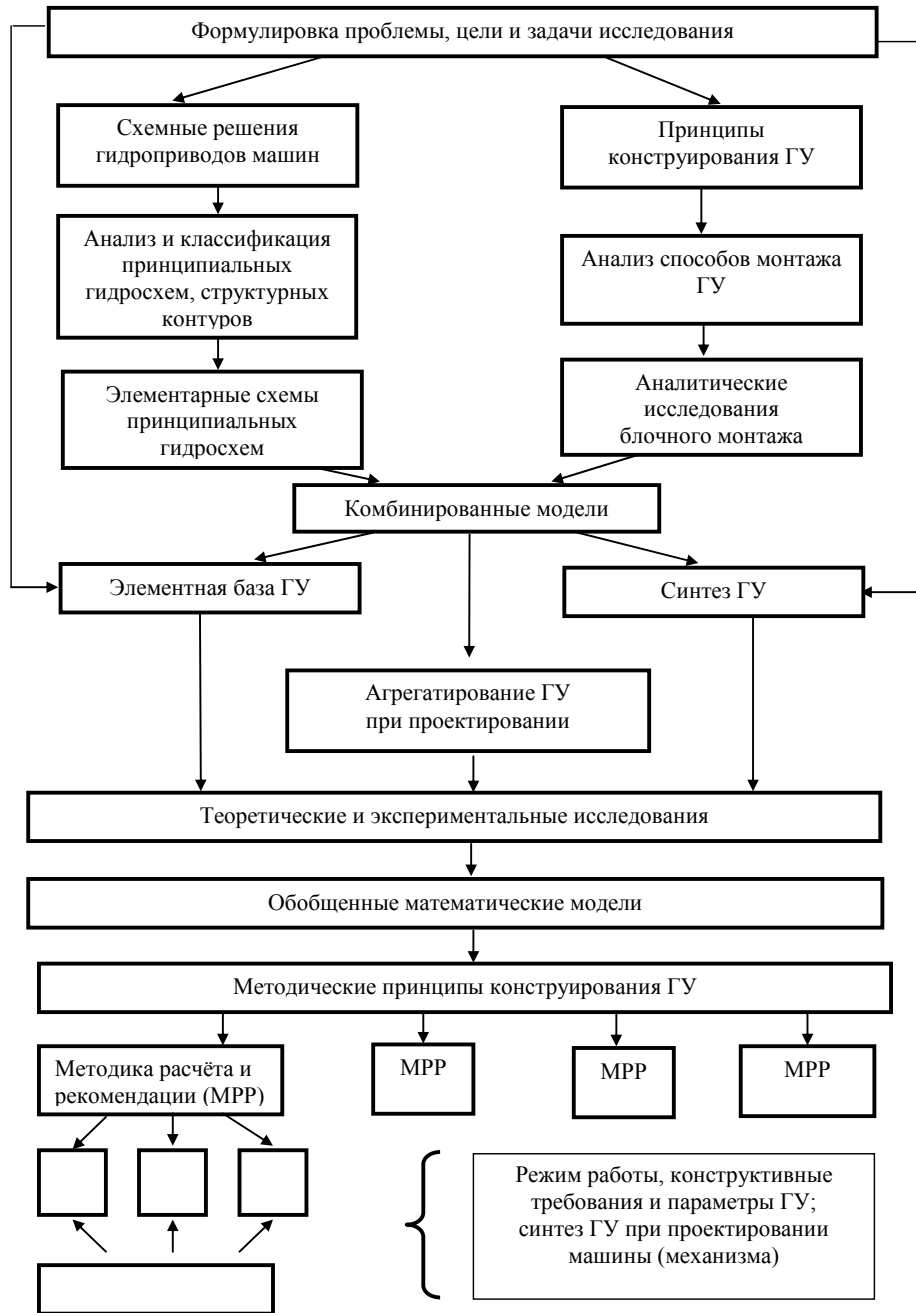


Рис. 2. Структурная схема решения проблемы

Блочно-иерархический подход к проектированию использует идеи декомпозиции сложных описаний объектов и средств их создания на иерархические уровни и аспекты, вводит понятие стиля проектирования (восходящее и нисходящее), устанавливает связь между параметрами соседних иерархических уровней. Реализация блочно-иерархического подхода в структурной схеме (рис. 2) обеспечивается уровнями этапов: формулировка проблемы, цели и задачи исследования → комбинированные модели → агрегатирование ГУ при проектировании, устанавливающими также связь между параметрами соседних иерархических уровней. Следует отметить также, что разработка принципов проектирования гидроблоков управления на начальном этапе является нисходящим проектированием, так как элементная база ГУ еще не определена и, следовательно, сведения о ее возможностях и свойствах носят



предположительный характер. Этап «Агрегатирование ГУ при проектировании» и последующие этапы планируется проводить восходящим проектированием.

### **Заключение**

С использованием предложенной структурной схемы:

1. Разработана элементная база агрегатно-модульного конструирования ГУ, позволяющая создавать методом агрегатирования конструкции гидроблоков управления, удовлетворяющие требованиям комплектуемого оборудования.

2. Предложены методики синтеза структурных схем соединений гидроблоков управления. Статистические испытания спроектированных по методикам гидроблоков управления показали, что в сравнении с аналогами уменьшается масса в среднем на 25 %, а потребляемая мощность – на 15 %. Сокращаются затраты и сроки на проектирование и внедрение до 60 %, увеличивается уровень унификации (по гидроблокам управления уровень унификации достигает 85–100 %).

3. Разработанные гидроблоки управления внедрены в производство [8].

### **Литература**

1. Пинчук, В. В. Способы монтажа гидроблоков управления / В. В. Пинчук // Вестн. БНТУ. – 2004. – № 5. – С. 47–50.
2. Красневский, Л. Г. Роль наукоемких компонентов в машиностроении / Л. Г. Красневский // Современные методы проектирования машин. – 2004. – Т. 1, вып. 2. – С. 4.
3. Свешников, В. К. Станочные гидроприводы : справ. / В. К. Свешников. – 4-е изд. перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 2004. – 510 с.
4. Пинчук, В. В. Принципы построения гидравлических схем приводов машин / В. В. Пинчук // Вестн. БНТУ. – 2004. – № 2. – С. 82–84.
5. Быков, В. П. Методическое обеспечение САПР в машиностроении / В. П. Быков. – Ленинград : Машиностроение, 1989. – 255 с.
6. Пинчук, В. В. Формирование компановочных решений гидроблоков управления / В. В. Пинчук // Теория и практика машиностроения. – 2004. – № 1. – С. 51–53.
7. Норенков, И. П. Автоматизированное проектирование [Электронная версия] / И. П. Норенков. – Москва : МГТУ им. Баумана, 2000.
8. Пинчук, В. В. Синтез гидроблоков управления на основе унифицированной элементной базы / В. В. Пинчук. – Минск : Технопринт, 2001. – 140 с.

*Получено 07.09.2009 г.*