

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 62 – 82 – 112.6 (083.13)

**ПИНЧУК
Владимир Владимирович**

**РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ АГРЕГАТНО-МОДУЛЬНЫХ
ГИДРОБЛОКОВ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОПРИВОДОВ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук**

по специальности 05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали
машин

Минск, 2016

Научная работа выполнена в Учреждении образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»

Научный консультант: **Шелег Валерий Константинович**, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси, заведующий кафедрой «Технология машиностроения» Белорусского национального технического университета

Официальные оппоненты: **Пашкевич Виктор Михайлович**, доктор технических наук, доцент, проректор по научной работе ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет»

Данилов Виктор Алексеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» Белорусского национального технического университета

Струтинский Василий Борисович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Конструирование станков и машин» Национального технического университета Украины

Оппонирующая организация ФГБОУ ВПО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

Защита состоится «20» мая 2016 г. в 14⁰⁰ часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02. 05. 03 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, проспект Независимости, 65, корп. 1, ауд. 202, тел. ученого секретаря 292 24 04
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «19» мая 2016 г.
Ученый секретарь совета
по защите диссертаций

О.Г. Девойно

ВВЕДЕНИЕ

Гидравлические приводы широко применяются в системах управления и автоматики современных технологических машин (металлорежущие, деревообрабатывающие станки, гидравлические прессы). При этом составляются они из наукоемких компонентов: нормализованных аппаратов и агрегатов, выпуск которых в настоящее время осуществляет ряд крупных заводов на территории стран СНГ, а также многочисленные зарубежные фирмы. При создании гидроприводов технологических машин разрабатывают гидроблоки управления (ГУ), состоящие из соединенных между собой гидроаппаратов согласно принципиальным гидросхемам. Гидроблоки управления являются сложной и дорогостоящей подсистемой гидроприводов, поэтому проблема повышения их эффективности является актуальной для любого машиностроительного предприятия.

Среди причин, снижающих эффективность ГУ, выделяют вариативность процесса их конструирования, что требует разработки нескольких альтернативных вариантов конструкций монтажных корпусов, а также изготовления и исследований экспериментальных и опытных образцов ГУ. Однако получение оптимальной структуры ГУ на основе такого подхода весьма проблематично, так как в результате проектируемые ГУ обладают увеличенными габаритными размерами, ухудшаются показатели материало- и энергоемкости, увеличиваются сроки и затраты на проектирование и освоение изделий в производстве. Полагают, что переход к агрегатно-модульному конструированию, заключающемуся в использовании при проектировании ГУ унифицированных по присоединительным размерам модулей и гидроаппаратов, позволит повысить эффективность разработок.

С целью реализации агрегатно-модульного конструирования ГУ в настоящее время разработаны и серийно изготавливаются модульная гидроаппаратура и элементы системы продольного монтажа (только на условные проходы $D_y = 6$ и 10 мм). При больших D_y значительно увеличиваются габаритные размеры, металлоемкость и стоимость ГУ. Разработаны также унифицированные функциональные блоки вертикального монтажа. Однако низкий уровень унификации практически исключает возможность их централизованного производства. Аппараты различных фирм-производителей стандартизированы по присоединительным размерам, что, учитывая вышеизложенное, по металлоемкости, габаритным размерам и стоимости ГУ оказывает консервативное влияние на создание систем агрегатно-модульного конструирования ГУ. Поэтому разработка, расчет и конструирование оптимальных структур агрегатно-модульных гидроблоков управления гидроприводов технологических машин машиностроительных предприятий является важной научной и практической проблемой.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами

В основу работы положены результаты исследований, выполненных автором в рамках НИР:

«Теоретическое и экспериментальное обоснование внедрения системы малогабаритных элементов гидроблоков управления» (№ ГР 1993438/93); «Исследование и разработка элементной базы и метода синтеза на ее основе гидроблоков управления технологического оборудования» (№ ГР 1998817/98); «Разработка, изготовление и поставка станции гидропривода суперкаландра мод. СК-25» (№ ГР 20023994); «Разработка, изготовление, испытание и поставка станции гидропривода движения тележки линии “Primultini”» (№ ГР 2004354); «Разработка, изготовление, испытание и поставка станции гидропривода: симулантного гидропривода; предварительно-загрузочного устройства линии “Rauma-Reppola”» (№ ГР 20042752); «Разработка, изготовление и испытание станции гидропривода пресса» (№ ГР 2006256).

Тема диссертации соответствует перечню Приоритетных направлений научно-технической деятельности Республики Беларусь «Ресурсосберегающие и энергоэффективные технологии производства конкурентоспособной продукции» (утверждено Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 17 мая 2005 г. № 512).

Цель и задачи исследования

Целью работы является разработка методов расчета и конструирования и освоение в производстве оптимизированных по параметрам и структуре агрегатно-модульных гидроблоков управления гидроприводов технологического оборудования для повышения эффективности их использования в условиях многономенклатурного производства.

Для достижения поставленной цели требуется решить следующие задачи:

- разработать инвариантные математические модели и алгоритмы проектирования гидроблоков управления с учетом присоединительных размеров гидроаппаратов, формы монтажных корпусов и структуры гидравлических каналов агрегатно-модульных гидроблоков управления, определяемой принципиальными гидравлическими схемами;
- разработать методы формирования структуры гидравлических каналов агрегатно-модульных гидроблоков управления, содержащей инвариантные соединения гидроаппаратов при помощи монтажных корпусов согласно принципиальным гидравлическим схемам приводов технологического оборудования;
- установить на основе учета пространственной компоновки гидроаппаратов закономерности образования структуры гидравлических каналов агрегатно-модульных гидроблоков управления;
- установить закономерности изменения присоединительных размеров системы компонентов агрегатно-модульных гидроблоков управления в зависимости от объема монтажного корпуса, площади его наружной поверхности и гидравлических потерь давления в магистральных и коммуникационных кана-

лах, с учетом показателей прочности монтажного корпуса и размеров уплотнительных элементов;

– разработать методы конструирования структурных схем агрегатно-модульных гидроблоков управления;

– на основе выполненных исследований разработать и внедрить в производство агрегатно-модульные гидроблоки управления для гидроприводов технологического оборудования различного назначения.

Научная новизна

Выявлены закономерности образования структуры гидравлических каналов агрегатно-модульных ГУ, устанавливающие пространственное спиралеобразное расположение гидроаппаратов вокруг сквозных магистральных каналов подвода и слива рабочей жидкости (в одном витке спирали находится до четырех присоединенных к указанным каналам гидроаппаратов), полученные из зависимостей объема монтажного корпуса, площади его наружной поверхности и гидравлических потерь давления при проходе рабочей жидкости в каналах подвода и слива, от количества гидроаппаратов, используемых в принципиальной гидросхеме и расположения их на монтажном корпусе, позволяющие создавать поверхностные модели монтажного корпуса разнообразных агрегатно-модульных ГУ.

Разработан новый метод формирования структуры гидравлических каналов монтажного корпуса агрегатно-модульных ГУ, с использованием методов «эквивалентных схем», «вариаций», «оптимизации структурно-сложных систем (метод Парето)», отличающийся от известных тем, что в процесс разработки структурных схем монтажного корпуса включены комбинированные модели ГУ элементарных схем, объединяющие в себе поверхностную модель монтажного корпуса агрегатно-модульных ГУ и топологические модели ГУ элементарных схем принципиальных гидросхем приводов, который позволяет создавать структурные модели блоков элементарных схем и на их основе инвариантные структурные схемы соединений разнообразных агрегатно-модульных ГУ.

Разработан новый метод расчета и конструирования агрегатно-модульных ГУ, с использованием методов «функционального проектирования», «общий решатель задач», «функционально-стоимостного анализа», «морфологического анализа», отличающийся от известных тем, что на основе универсальной структуры ГУ при помощи комбинированных моделей блоков элементарных схем разрабатываются обобщенные модели разнообразных агрегатно-модульных ГУ, который позволяет выполнять построение и оптимизацию моделей разнообразных агрегатно-модульных ГУ по заданной принципиальной гидросхеме привода и техническим требованиям к изделию.

Разработана новая методика структурного синтеза ГУ, заключающаяся в том, что исходная принципиальная схема и структурные схемы соединительного корпуса описываются математически в виде разреженных матриц, обрабатываемых по алгоритму, устанавливающему бинарную связь между указан-

ными матрицами, которая создает предпосылки для автоматизации процесса разработки структурной схемы соединений ГУ при помощи средств САПР.

Впервые установлены закономерности изменения присоединительных размеров системы компонентов агрегатно-модульных ГУ в зависимости от объема монтажного корпуса, площади его наружной поверхности и гидравлических потерь давления в магистральных и коммуникационных каналах, с учетом показателей прочности монтажного корпуса и размеров уплотнительных элементов при расчетах геометрических размеров компонентов агрегатно-модульных ГУ, применимые для расчетов и конструирования компонентов агрегатно-модульных ГУ для машин, работающих в различных условиях эксплуатации.

Положения, выносимые на защиту:

1. Закономерности образования структуры гидравлических каналов агрегатно-модульных ГУ, устанавливающие пространственное спиралеобразное расположение гидроаппаратов вокруг сквозных магистральных каналов подвода и слива рабочей жидкости (в одном витке спирали находится до четырех присоединенных к указанным каналам гидроаппаратов), полученные из зависимостей объема монтажного корпуса, площади его наружной поверхности и гидравлических потерь давления при проходе рабочей жидкости в каналах подвода и слива, от количества гидроаппаратов, используемых в принципиальной гидросхеме и расположения их на монтажном корпусе, что позволяет оптимизировать параметры системы компонентов и структуру гидравлических каналов агрегатно-модульных гидроблоков управления.

2. Метод формирования структуры гидравлических каналов монтажного корпуса агрегатно-модульных ГУ, основанный на включении в процесс разработки структурных схем монтажного корпуса комбинированных моделей, объединяющих в себе поверхностную модель монтажного корпуса агрегатно-модульных ГУ и топологические модели ГУ элементарных схем принципиальных гидросхем приводов, что позволяет создавать общие мультиграфы структурных решений блоков элементарных схем и за счет этого сократить сроки и затраты на проектирование гидроблоков управления, повысить уровень унификации агрегатно-модульных ГУ, при этом комбинированные модели несут в себе основу разработки инвариантных структурных схем ГУ.

3. Метод расчета и конструирования агрегатно-модульных ГУ, отличающийся от известных тем, что структурная схема соединений ГУ разрабатывается на основе его обобщенной модели при помощи комбинированных моделей ГУ элементарных схем, что упрощает задачи принятия решений в процессе проектирования ГУ, уменьшает массу и энергопотребление ГУ, сокращает сроки и затраты на их создание и внедрение в производство.

4. Методика структурного синтеза ГУ, заключающаяся в том, что исходная принципиальная схема и структурные схемы соединительного корпуса описываются математически в виде разреженных матриц, обрабатываемых по алгоритму, устанавливающему бинарную связь между указанными матрицами, что

создает предпосылки автоматизации процесса разработки структурной схемы соединений ГУ при помощи средств САПР.

5. Закономерности изменения присоединительных размеров системы компонентов агрегатно-модульных ГУ в зависимости от объема монтажного корпуса, площади его наружной поверхности и гидравлических потерь давления в магистральных и коммуникационных каналах, с учетом показателей прочности монтажного корпуса и размеров уплотнительных элементов при расчетах геометрических размеров компонентов агрегатно-модульных ГУ, которые применимы для расчетов и конструирования компонентов агрегатно-модульных ГУ для машин, работающих в различных условиях эксплуатации, что позволяет улучшить технические характеристики системы компонентов и параметры проектируемых с их использованием гидроблоков управления.

Личный вклад соискателя ученой степени

Личный вклад автора заключается в проведении исследований по агрегатно-модульному конструированию гидроблоков управления, непосредственном участии в планировании и выполнении расчетных, экспериментальных, конструкторско-технологических и метрологических работ, интерпретации и обобщении данных, выработке направления использования полученных результатов и изделий.

Диссертация выполнена в Учреждении образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого». В выборе направления работы участвовали доктор технических наук, профессор В. С. Шевченко, доктор технических наук, профессор Н. В. Кислов, в разработке конструкции стандартизованной элементной базы (компонентов) и гидроблоков на их основе, проведении их испытаний и исследований принимали участие сотрудники ОАО ГСКТБ ГА: В. И. Дорощенко, Г. Я. Салов, В. В. Пинчуков, С. И. Певзнер, В. В. Давыдейко. В исследованиях по разработке автоматизированного проектирования с использованием средств САПР под руководством соискателя принимал участие А. В. Лифанов. Доктор технических наук, профессор В. К. Шелег осуществлял консультации и оказывал практическую помощь на всех этапах выполнения данной работы.

Степень участия других соавторов выражается в обсуждении полученных результатов, написании совместных публикаций.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Основные положения диссертации доложены и обсуждены на международных научно-технических конференциях (МНТК): «Современные проблемы машиноведения» (Гомель, 1996); «Современные проблемы машиноведения» (Гомель, 1998); «Ресурсо- и энергосберегающие технологии промышленного производства» (Витебск, 2003); «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» (Могилев, 2004); «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии в машиностроении» (Минск, 2004); «Современные проблемы машиноведения» (Гомель, 2004); «Современные проблемы машиноведения» (Гомель, 2006); «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» (Минск, 2010), «Современные проблемы гидропневмосистем

машин» (Минск, 2011), а также на III Белорусском конгрессе «Теоретическая и прикладная механика» (Минск, 2007).

Материалы диссертации доложены, обсуждены и получили положительную оценку на заседании отдела гидравлических и пневматических систем ОАО «ЭНИМС» (Москва, 2007) и расширенном заседании кафедр «Прикладная гидроаэромеханика и мехатроника» и «Конструирование станков и машин» Национального технического университета Украины (Киев, 2007); в ЗАО «НГК силовые компоненты» Российско-белорусско-украинского холдинга «Hydra Pac» (Минск, 2009); ОАО «ГСКТБ ГА» (Гомель, 2013); на заседании лаборатории электрогидравлических систем ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси» (Минск, 2013).

Гомельским ГСКТБ ГА (при непосредственном участии автора) совместно с ВНИИГидропривода разработана система компонентов агрегатно-модульных ГУ – унифицированные функциональные блоки типа БФ с условным проходом $D_y = 10, 20$ мм и давлением до 20 МПа. Сравнение полученных параметров (номинальное давление, условный проход, номинальный расход, масса изделия) блоков БФ с лучшими зарубежными аналогами (функциональные блоки фирм Bosch Rexroth, Parker-Hannifin) показало соответствие мировому уровню, что подтверждено зарегистрированной в Госстандарте картой технического уровня (КУ2-053-2367–86). С учетом этого обстоятельства Гомельским ГСКТБ ГА (при непосредственном участии автора) был разработан полный комплект нормативно-технической документации, в том числе технические условия ТУ2-053-1739–85, и освоено с 1985 г. серийное производство блоков типа БФ на Гомельском ПО «Гидроавтоматика».

Выполненная автором в ГГТУ им. П. О. Сухого разработка унифицированных функциональных блоков на основе гидроаппаратов встраиваемого монтажа позволила улучшить в 1,6 раза (с 20 до 32 МПа) показатель их технического уровня «номинальное давление», а также расширить типоразмерный ряд по условным проходам в 2,5 раза (с $D_y = 10$ и 20 до $D_y = 6, 10, 16, 20, 32$ мм). Блоки на основе гидроаппаратов встраиваемого монтажа соответствуют параметрам стыковых гидроаппаратов, используемых в настоящее время в промышленности, и по функциональным возможностям допускают их замену. В ГГТУ им. П. О. Сухого проводились экспериментальные работы с целью определения технико-экономических показателей унифицированных функциональных блоков на основе гидроаппаратов встраиваемого монтажа (ФБВ). В результате сравнения установлено, что ГУ, изготовленный на основе ФБВ, имеет преимущество перед аналогом (ГУ на основе блоков типа БФ) по следующим показателям: уменьшен габаритный размер по высоте на 110 мм; снижена масса изделия на 10 кг ($\approx 50\%$); уменьшена трудоемкость изготовления на $\approx 30\%$. В 1998 г. Гомельским заводом «Гидропривод» были выпущены гидростанции на основе ФБВ следующих моделей: С63-1Н, С80-4Я, С80-4ЯУ общим количеством около 100 штук. Хойникским заводом «Гидроаппаратура» освоен серийный выпуск гидростанций С80-4ЯУ (ТУ РБ 14704940.002–2000).

В течение 1998–2009 гг. изготовлены и поставлены потребителям станции гидропривода на базе ФБВ общим количеством свыше 300 штук.

В течение 2002–2006 гг. выполнен ряд ОКР по разработке станций гидропривода на основе блоков ФБВ, которые внедрены в производство.

Кроме того, были выполнены работы по модернизации изготавливаемых отечественной промышленностью образцов гидроприводов различного технологического оборудования. Всего было подвергнуто модернизации 42 образца, среди которых гидроприводы круглошлифовальных, агрегатных, трубоотрезных станков; автоматических линий; лесорам; токарных полуавтоматов и др.

Опубликование результатов диссертации

По теме диссертации опубликовано 55 научных работ, в том числе 3 монографии и 28 статей, соответствующие пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь (общий объем 7,68 авторских листов). Кроме того, опубликовано: 1 статья в журнале «Станки и инструмент», 17 статей в сборниках научных трудов и материалов конференций, 5 авторских свидетельств, 1 патент на полезную модель.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, шести глав, заключения, списка литературы, и пяти приложений на 93 страницах. Объем рукописи диссертации на основе выполненных исследований – 328 страниц, в том числе 77 рисунков на 23 страницах, 10 таблиц на 18 страницах, список используемых источников из 173 наименований на 13 страницах.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Введение содержит описание проблемы и обоснование целесообразности разработки методов расчета и конструирования агрегатно-модульных гидроблоков управления систем гидроприводов технологического оборудования для повышения эффективности их использования в условиях многономенклатурного производства.

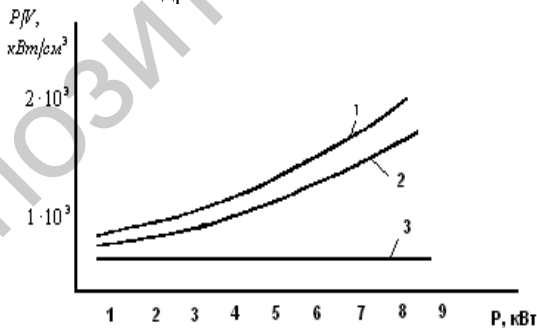
В первой главе выполнен анализ существующих методов расчета и конструирования гидроблоков управления гидроприводов технологического оборудования с использованием в процессе создания агрегатно-модульного принципа, направленного на повышение их эффективности, обоснованы цель и задачи исследований.

Гидравлическая аппаратура, предназначенная для управления направлением, скоростью и усилием исполнительных механизмов машин, а также осуществления функции контроля в гидроприводе и всего цикла работы привода, занимает в гидросистемах одно из центральных мест. Причем в большинстве случаев гидроаппаратура должна обеспечивать работу механизмов в автоматическом режиме. Гидроблоки управления машин и механизмов построены на основе гидроаппаратуры, скомпонованной в соответствии с принципиальной гидравлической схемой привода, и являются основным узлом в гидросистеме. При этом задача поиска оптимальных конструкций ГУ, состоящих из соеди-

ненных при помощи монтажных корпусов гидроаппаратов, решается в настоящее время на основе эвристического подхода, что существенно снижает их эффективность. Исходя из того, что между вариантами конструктивных исполнений ГУ и принципами построения гидравлических схем приводов машин существуют связи, которые влияют на их технико-экономические показатели, автором проведен анализ гидравлических схем приводов технологического оборудования, позволивший установить структурные контуры – элементарные схемы: «подготовки и предохранения», «реверса» и «сложных движений», являющиеся типовыми для приводов различных машин. При конструктивном решении в виде самостоятельных узлов данных элементарных схем построение конкретного ГУ сведется лишь к определению номенклатуры и количества узлов и соединению их между собой. По классификации, выполненной Н. Eberstheuser, способы монтажа ГУ можно разделить на: щитовой, блочный, вертикальный и продольный. Технический уровень таких решений наиболее полно характеризует показатель требуемого пространства для монтажа гидроаппаратов (рисунок 1). Анализ показывает, что существующие системотехнические решения агрегатно-модульного конструирования ГУ, функциональные блоки вертикального и продольного монтажа основаны на использовании структурных контуров гидросистем и нормализованных, серийно изготавливаемых гидроаппаратов. По данным ВНИИГидропривода, на основе блоков продольного монтажа может быть решена задача создания ГУ на базе унифицированных узлов до 70–75 % выпускаемых гидроприводов. Унифицированные функциональные блоки вертикального (башенного) монтажа несколько предпочтительнее по сравнению с блоками продольного монтажа, так как ГУ на их основе более компактны и в некоторых случаях по параметрам могут соответствовать показателям блочного монтажа. Однако ограниченные возможности при конструктивном решении принципиальных гидросхем приводов приводят к снижению уровня унификации ГУ и практически исключают целесообразность организации их серийного производства. Вместе с тем, как следует из рисунка 1, материалоемкость ГУ на основе блоков вертикального и продольного монтажа (кривая 2) на 10–15 % выше в сравнении с ГУ на основе чисто блочного монтажа (кривая 1). Анализ стоимости ГУ в различных системах монтажа (рисунок 2) с учетом технического уровня решений (рисунок 1) показывает, что каждая из стратегий конструирования ГУ имеет свою область предпочтения. Щитовой монтаж как по компактности (рисунок 1), так и по стоимости (рисунок 2) уступает блочному, вертикальному и продольному монтажу. Поэтому используется он, как показывает анализ литературных источников, крайне редко. По стоимости (рисунок 2), при объеме производства партий ГУ в год 10 штук и более, блочный монтаж является предпочтительнее. Однако с учетом сроков и затрат на создание ГУ неоспоримым преимуществом пользуются вертикальный и продольный монтаж, что учитывается при принятии стратегии проектирования. Следовательно, задачу создания функциональных блоков необходимо решать на основе учета как вариативности соединения гидроаппаратов, определяемой принципиальными гидросхемами

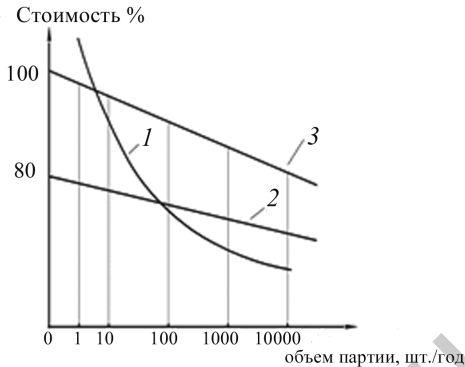
приводов, так и компактности монтажных корпусов. В свою очередь, анализ тенденций развития гидроаппаратов, элементной базы конструирования ГУ, показал, что в настоящее время большинство гидроаппаратуры выпускается со стыковым присоединением. С целью обеспечения взаимозаменяемости гидроаппаратов различных фирм-производителей они стандартизированы по присоединительным размерам (международные рекомендации по стандартизации SETOP, ISO 4401, DIN 24340, ГОСТ 26890, ГОСТ 27790, ГОСТ 24679). При этом в процессе создания конструкций гидроаппаратов наиболее полную реализацию находит стремление получить наивысшие показатели (габаритные размеры и масса, номинальное давление, расходные характеристики и т. п.) по каждому из них, но без учета совместного использования в ГУ. То есть монтажные корпуса во внимание не принимаются, что ухудшает показатели конструкции ГУ в целом. Таким образом, стандартизация присоединительных размеров гидроаппаратов в действующем на сегодняшний день виде оказывает консервативное влияние на проектирование ГУ. Существующие стандарты закрепляют сложившееся положение в деле конструирования ГУ и вынуждают проектировщиков и исследователей выбирать заведомо не лучшие направления при их создании.

С учетом изложенного, а также анализа методик и методологий проектирования различных технических систем сделан вывод, что решение задачи построения оптимальных конструкций ГУ следует вести путем разработки и использования при их конструировании монтажных модулей, которые позволяют реализовать инвариантные математические модели и алгоритмы построения структуры гидравлических каналов монтажных корпусов, определяемых принципиальными гидравлическими схемами.



1 – блочный монтаж; 2 – вертикальный и продольный монтаж;
3 – щитовой монтаж

Рисунок 1. – Концентрация мощности в единице объема ГУ в различных системах монтажа для гидроаппаратов с условными проходами (D_y) = 6 и 10 мм (по данным Н. Eberstheuser)



**1 – блочный монтаж; 2 – вертикальный и продольный монтаж;
3 – щитовой монтаж**

Рисунок 2. – Зависимость стоимости ГУ от объема партии в различных системах монтажа (по данным Н. Eberstheuser)

Во второй главе проведено исследование эффективности конструкторских разработок ГУ, определены основные схемы связи и последовательность выполнения этапов создания ГУ приводов машин, составлены математические модели оптимизации конструкций ГУ, сформулированы условия создания их структурированного процесса проектирования.

На основе системного подхода проектирования разработана последовательность этапов решения проблемы агрегатно-модульного конструирования ГУ. Так, на первом этапе проведен анализ схемных и компоновочных решений ГУ и выбор лучших из них в качестве базового прототипа для дальнейшего проектирования. Так как при конструировании конкретного ГУ достаточными условиями, позволяющими начать процесс проектирования, являются наличие принципиальной гидросхемы и технических требований к нему, очевидно, что гидросхема в данном случае является постановочной задачей, которую требуется представить в формализованном виде. Предположим, что в гидросхеме используются только однотипные по присоединениям гидроаппараты, тогда количество вариантов постановочных задач можно определить из известной формулы комбинаторики

$$A = e!z^e, \quad (1)$$

где A – количество вариантов задач, e – число гидроаппаратов в схеме; z – число ходов (вход, выход) в гидроаппарате. На основе систематизации и выявленных закономерностей построения схемных решений гидроприводов машин (глава первая) нами установлены элементарные схемы «подготовки и предохранения», «реверса» и «сложных движений», которые могут быть положены

в основу создания стандартизированных унифицированных элементов системы агрегатно-модульного конструирования ГУ. Подставив в (1) $e = 4$ и $z = 2$ – данные для элементарной схемы «подготовки и предохранения» с последовательным соединением четырех гидроаппаратов, получим $A = 384$. Это количество вариантов решения задач многократно возрастает, если рассмотреть схемы с параллельным и параллельно-последовательным соединениями аппаратов, а также если учесть варианты элементарных схем «сложных движений». Используя метод эквивалентных схем, при котором в качестве подсистем (элементов) представлены элементарные схемы на основе принципа Даламбера (аналога первого закона Киргофа), получены графические модели узлов, отображающие их топологию (взаимосвязи гидроаппаратов). Так, для узла подготовки и предохранения из четырех гидроаппаратов количество моделей составило 14 (рисунок 3), а для узла сложных движений из трех гидроаппаратов – 17 (рисунок 4). Модели на рисунках представлены в виде графов, на которых вершинами P, T, A, B обозначены каналы для прохода рабочей жидкости, а обезличенные вершины представляют гидроаппараты принципиальных гидросхем. Ребрами на графе обозначены гидравлические соединения между гидроаппаратами и каналами P, T, A, B . Анализ графа (1) на рисунке 3 показывает, что 384 варианта последовательных соединений гидроаппаратов можно представить одним графом схемы. Присваивая вершинам обозначения различных гидроаппаратов, можно получить расширенное множество исходных задач.

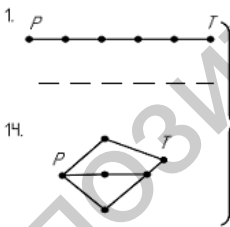


Рисунок 3. – Графические модели узла подготовки и предохранения (для четырех гидроаппаратов)

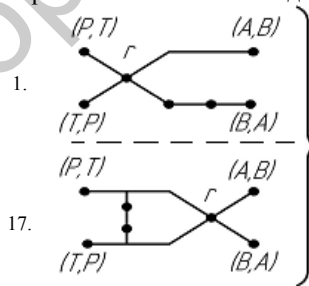


Рисунок 4. – Графические модели узла сложных движений (для трех гидроаппаратов)

Для решения задачи по определению базового прототипа компоновочного решения ГУ требуется разработка математической модели, устанавливающей связь критериев оптимальности с пространственной компоновкой ГУ. Исходным требованием при проектировании ГУ является получение конструкции, обеспечивающей минимум затрат на ее изготовление и эксплуатацию с приемлемым уровнем надежности. Оптимальность W конструкции ГУ можно выразить следующей формулой:

$$W = \langle x, D, X \rangle, \quad (2)$$

где x – вектор управляемых переменных; D – множество допустимых вариантов проектируемой конструкции (т. е. конкретное значение x , с учетом ограничений); X – функционал цели, описывающий эффект от выбора того или иного варианта проектируемого ГУ. Задача оптимизации состоит в определении значения X , удовлетворяющего условию:

$$X \rightarrow \text{extr}, x \in D. \quad (3)$$

Однако состав элементов (блоков) в нашем случае включает гидроаппараты согласно гидросхемы и монтажные корпуса. При этом обеспечение одновременно для всех элементов оптимальных значений показателей качества (компактности узла и стоимости) не может быть достигнуто, так как габаритные и присоединительные размеры блоков должны обеспечивать собираемость ГУ, что не позволяет минимизировать все их размеры без исключения; с повышением надежности, а также улучшением энергетических характеристик блоков увеличиваются их габаритные размеры и вес, повышается трудоемкость изготовления.

То есть совокупность частных критериев лишь сужает множество допустимых вариантов проектируемой конструкции D , задавая в нем область Парето – множество компромиссно-оптимальных проектов, оценки которых не могут быть улучшены одновременно по всем частным критериям. Анализ технико-экономических показателей различных способов монтажа ГУ позволил установить, что в расчетную модель оптимизации должны быть включены следующие параметры: объем гидроблока V ; площадь его наружной поверхности S ; гидравлические потери давления в нем Δp . С учетом изложенного решение многокритериальной задачи оптимизации ГУ возможно в два этапа:

- формирование интегрального критерия оптимальности (или этап построения расчетной модели оптимизации);
- численная реализация построенной модели оптимизации.

С целью реализации первого этапа задачи оптимизации ГУ для определения формы монтажного корпуса на основе выражений (2) и (3) нами получена следующая формула общего критерия оптимальности X :

$$X = \left\{ C_1 \frac{2\Delta p^*}{\rho K b} \left(\frac{d_1}{\lambda \vartheta} + \frac{d_2}{\lambda \vartheta} \right) + C_2 \frac{4V^* \left(\frac{\pi}{n} \right)}{a^2 n K b} + C_3 \frac{2S^* \text{tg} \left(\frac{\pi}{n} \right)}{an \left[a + \text{tg} \left(\frac{\pi}{n} \right) \right] K b} \right\} \rightarrow \min, \quad (4)$$

где C_1, C_2, C_3 – коэффициенты взаимной важности частных критериев – результат экспертизы. Они отражают представление проектировщика о содержании компромисса, который он вынужден принять, и являются той дополнительной информацией, которая позволяет редуцировать многокритериальную

задачу к экстремальной задаче ($C_1 + C_2 + C_3 = 1$); Δ , V^* , S^* – нормирующие множители (МПа, м³, м² – соответственно); λ_1, λ_2 – значения коэффициентов Дарси; ρ – плотность рабочей жидкости, кг/м³; K – количество корпусов в ГУ; n – количество установленных гидроаппаратов на одном уровне монтажного корпуса; a, b – размеры плоскости монтажного корпуса, предназначенной для установки гидроаппаратов, мм; d_1, d_2 – диаметры каналов подвода рабочей жидкости и слива, соответственно, мм; v_1, v_2 – скорости движения рабочей жидкости в каналах d_1 и d_2 , соответственно, м/с. Решение постановочных задач элементарных схем с учетом формы монтажного корпуса позволяет создать его гидравлическую схему, а также сформулировать условия для проектирования и требования к стандартизированной элементной базе агрегатно-модульного конструирования ГУ. Далее, на основе комбинированных моделей ГУ, отражающих схемные и компоновочные решения ГУ элементарных схем, решается задача синтеза стандартизированной элементной базы, позволяющей создавать конструкции ГУ методом агрегатно-модульного монтажа, разработать математическую модель соединительно-монтажного модуля. Целью следующего этапа синтеза агрегатно-модульных ГУ является поиск оптимальных компоновочных решений ГУ на основе стандартизированной элементной базы. Решение этой задачи требует разработки модели ГУ, отражающей расположение элементов в пространстве, а также гидравлические соединения их между собой (структуру гидравлических каналов ГУ). Очевидно, установить структуру гидравлических каналов ГУ возможно на основе моделей соединительно-монтажного модуля и схемы их соединений, позволяющих установить логическую связь: принципиальная гидросхема → схема соединений → сборочный чертеж ГУ. Как отмечено ранее, принципиальная гидросхема является постановочной задачей, которую при проектировании ГУ необходимо представить в формализованном виде. Введя обозначения гидроаппаратов и гидрочерез линий, принципиальную гидросхему можно записать в виде матрицы T , описывающей соединения гидроаппаратов:

$$T = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & t_{13} & \dots & t_{1i} & \dots & t_{1n} \\ t_{21} & t_{22} & t_{23} & \dots & t_{2i} & \dots & t_{2n} \\ t_{31} & t_{32} & t_{33} & \dots & t_{3i} & \dots & t_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ t_{j1} & t_{j2} & t_{j3} & \dots & t_{ji} & \dots & t_{jn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ t_{m1} & t_{m2} & t_{m3} & \dots & t_{mi} & \dots & t_{mn} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где t_{ij} – номер j -го гидроаппарата, присоединенного к i -й точке гидросхемы; $j = 1 \dots m$ – номер гидроаппарата на гидросхеме; $i = 1 \dots n$ – номер точки соединения гидроаппаратов, в качестве которых принимаются общие на схеме гид-

ролинии, например, линии подвода рабочей жидкости и слива и т. п. Каждый соединительно-монтажный модуль реализует собой часть принципиальной гидросхемы. Поэтому для любого модуля можно составить матрицу, где каждая строка содержит обозначения соединенных между собой каналов. Кроме того, необходимо составить вектор \vec{B} , отражающий количество гидроаппаратов, присоединенных к каждой точке принципиальной гидросхемы, и матрицу F , отражающую количество граней модуля, на которые выходят выводы, соединенные в каждой точке гидросхемы модуля, использованного в ГУ:

$$\vec{B} = [b_1 \ b_2 \ b_3 \ \dots \ b_m], \quad (6)$$

где b_i – количество гидроаппаратов, присоединенных к i -й точке, $i = 1 \dots m$.

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} & \dots & f_{1j} & \dots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} & \dots & f_{2j} & \dots & f_{2n} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} & \dots & f_{3j} & \dots & f_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{i1} & f_{i2} & f_{i3} & \dots & f_{ij} & \dots & f_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{m1} & f_{m2} & f_{m3} & \dots & f_{mj} & \dots & f_{mn} \end{bmatrix}, \quad (7)$$

где f_{ij} – количество боковых граней модуля, на которые выходят выводы, соединенные в j -й точке; $i = 1 \dots m$ – номера боковых граней модуля; $j = 1 \dots n$ – номера точек соединений гидролиний на гидравлической схеме модуля. Затем, сравнивая количество гидроаппаратов в строках матрицы (5) и количество граней модуля матрицы (7), можно определить точки модуля, у которых количество граней совпадает с количеством гидроаппаратов, изображенных на принципиальной гидравлической схеме. При совпадении количества элементов матриц (5) и (7) необходимо сохранять матрицу-результат для каждой гидравлической схемы модуля, которая аналогична матрице (7), где вместо номеров боковых граней модуля записаны номера гидроаппаратов, присоединенных к этим граням. Таким образом, каждая матрица-результат будет соответствовать блоку с присоединенными к нему гидроаппаратами. Изложенный подход к проектированию ГУ на основе стандартизированной элементной базы создает предпосылки использования в этом процессе средств САПР. Применяв принципы функционально-стоимостного анализа, задачу проектирования на основе стандартизированной элементной базы оптимального ГУ можно сформулировать следующим образом: имеется n блоков с номерами $i = \{1, 2, \dots, n\}$. Стоимость установки блока i равна r_i и является комплексным показателем, включающим цену блока C_6 , а также эксплуатационные затраты

при работе блока в составе ГУ (затраты на энергию Z_3). Имеется также номенклатура и количество входящих в ГУ аппаратов и монтажных корпусов – состав S , который зависит от гидросхемы. Для формализации задачи оптимизации ГУ в процессе его конструирования введем булевы переменные x_i . Если блок i используется в ГУ, то $x_i = 1$, если нет, то $x_i = 0$. Тогда математическое выражение задачи примет вид

$$f(I) = \sum_{i=1}^n g r_i x_i \rightarrow \min; \sum_{i=1}^n g s_i x_i \supset S; x_i = 0 \vee 1; I = 1, \dots, n, \quad (8)$$

где $f(I)$ – стоимость конструктивного варианта ГУ; g – коэффициент повторяемости, s_i – состав i -го блока. Из уравнения (8) можно рассчитать величину стоимости $f(I)$ всего множества вариантов ГУ и выбрать тот, у которого она минимальна.

Таким образом, формализация гидравлических схем приводов машин на основе метода эквивалентных схем, при котором в качестве подсистем представлены типовые схемы принципиальных гидросхем в виде графов, отображающие их топологию (гидравлические связи гидроаппаратов), позволяет многократно сократить количество вариантов постановочных задач для проектирования гидроблоков управления. В то же время оптимальность конструкции ГУ будет достигнута в случае разработки структуры монтажного корпуса (формы монтажного корпуса и его гидравлической схемы), что, в свою очередь, позволит сформулировать требования к элементной базе агрегатно-модульного конструирования ГУ. Разработка инвариантных математических моделей ГУ, отражающих расположение элементов в пространстве, а также гидравлические соединения их между собой позволят осуществлять поиск оптимальных компоновочных решений ГУ в лабиринте инвариантных структур. При этом наиболее целесообразно выполнять поиск на основе методов функционально-стоимостного анализа.

В третьей главе изложены результаты исследований признаков оптимальности ГУ, учитываемых конструкторами в процессе разработки структуры агрегатно-модульных ГУ при их создании (занимаемый объем, размер полной поверхности, гидравлические потери давления, возможность агрегатирования системы компонентов и уровень их унификации в ГУ).

Сравнение и оценка способов блочно-модульного монтажа показывает, что различное пространственное расположение гидроаппаратуры в значительной степени оказывает влияние на занимаемые гидроблоками управления производственные площади, их материалоемкость и энергопотребление. Если учитывать конструктивное устройство ГУ, то такие его параметры, как занимаемый объем V , размер наружной поверхности S и гидравлические потери давления Δp , будут определяться исходя из размеров монтажного корпуса. С целью определения наиболее рациональной формы монтажного корпуса ГУ рассмотрим динамику изменения этих параметров (Δp , V , S) у многогранной призмы, в основании которой лежит равносторонний многоугольник с длиной стороны a . Высота призмы равна b , т. е. на каждую грань $a \times b$ может быть установлен один гидроаппарат. Количество граней $a \times b$ равно n . При установке

N гидроаппаратов на n граней в случае $N > n$ потребуется K призм, соединенных друг с другом своими основаниями. Причем число N для существующих технологических машин, основываясь на результатах выполненного в первой главе диссертации анализа принципиальных гидросхем приводов, будем рассматривать в пределах 3–30. Для оценки конструкций ГУ при различных способах монтажа из выражения (4) нами сформированы общие критерии оптимальности (9) и (10)

$$X = \left(\begin{array}{l} \frac{0,33[(N-1)/n+1]}{N} + \frac{0,33[(N-1)/n+1]}{4\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{n}\right)cN} + \\ \frac{0,33\left\{n/4\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{n}\right) + bn[(N-1)/n+1]\right\}}{2cb + N(c+b)} \end{array} \right) \rightarrow \min, \quad (9)$$

где N – количество гидроаппаратов в схеме; n – количество граней монтажного корпуса, предназначенных для установки гидроаппаратов; b и c – размеры монтажного корпуса, мм.

$$X = \left(\begin{array}{l} \frac{0,33K}{(N-1)/7+1} + \frac{0,33nK}{4\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{n}\right)\sqrt{3}[(N-1)/3+1]} + \\ \frac{\left[na/2\operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{n}\right) + bnK\right]0,33}{\sqrt{3}a/2 + 3b[(N-1)/3+1]} \end{array} \right) \rightarrow \min, \quad (10)$$

где K – число призм в монтажном корпусе; a – размер монтажного корпуса, мм.

Численные исследования критериев (9) и (10) позволили сделать вывод, что применение многогранных призм, т. е. блочного вертикального монтажа, в сравнении с блоками продольного монтажа может обеспечить уменьшение значения общего критерия оптимальности X более, чем на 50 %, а оптимальная компоновка ГУ достигается в случае расположения гидроаппаратов на монтажном корпусе модульного исполнения, имеющем сквозные магистральные каналы подвода и слива рабочей жидкости, форма которого позволяет установить в одном горизонтальном уровне четыре гидроаппарата (рисунок 5). По горизонтальным осям на рисунке 5 отложены значения n – число граней мон-

тажного корпуса (площадок), используемых для установки гидроаппаратов в процессе разработки ГУ, и число гидроаппаратов в принципиальной гидросхеме N . По вертикальной оси – значения двумерной функции плотности распределения значений X – общего критерия оптимальности ГУ при варьировании размеров монтажного корпуса и числа гидроаппаратов в принципиальной гидросхеме. Совместное рассмотрение формы монтажного корпуса ГУ и полученных во второй главе топологических моделей узлов подготовки и предохранения, а также сложных движений позволяет разработать структуру гидравлических каналов монтажных корпусов, в связи с чем предложено преобразовать топологические модели узла элементарных схем подготовки и предохранения (для четырех гидроаппаратов) и сложных движений (для трех гидроаппаратов) в комбинированные модели (таблица 1), которые представляют собой графы ГУ элементарных схем, совмещенные с графической моделью формы монтажного корпуса. Анализ комбинированных моделей показал, что для того, чтобы обеспечить все возможные варианты соединений гидроаппаратов в конструкции монтажного корпуса, необходимо выполнить сверление коммутационных отверстий в двух различных по высоте уровнях. Это обусловлено наличием в схемах данного вида четырехходовых гидроаппаратов. Соответственно, в двухходовых гидроаппаратах необходимо выполнить дополнительно по одному отверстию входа и выхода таким образом, чтобы по их расположению был образован прямоугольник, в смежных вершинах которого находились бы два отверстия входа, а в двух других вершинах – два отверстия выхода. Такое решение позволяет при необходимости соединять входы и выходы гидроаппарата со сверлениями монтажного корпуса верхнего или нижнего уровня (коммуникационными каналами), тем самым достигая решения вариативных схем соединения гидроаппаратов. Преобразование указанным образом присоединительных размеров гидроаппаратов решает в конечном счете задачу создания элементной базы агрегатно-модульного конструирования: узлов подготовки и предохранения, а также сложных движений и ГУ в целом при минимальном числе исполнений соединительно-монтажного модуля.

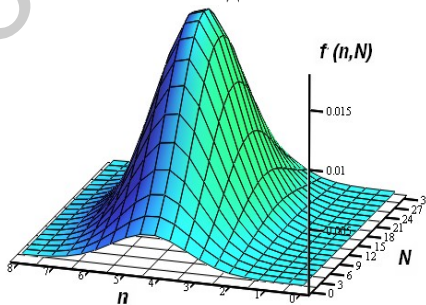
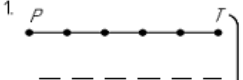

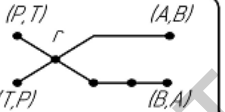
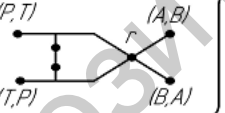
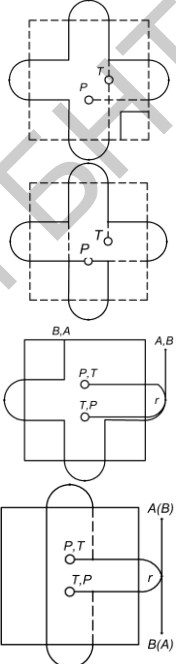


Рисунок 5. – Двухмерная функция плотности распределения общего критерия оптимальности X от числа граней монтажного корпуса n и числа гидроаппаратов N

То есть структурные модели инвариантных агрегатно-модульных ГУ могут быть получены при помощи комбинированных моделей элементарных схем подготовки и предохранения и сложных движений выходных звеньев приводов.

Таблица 1 – Комбинированные модели элементарных схем гидравлических схем приводов

Топологические модели	Комбинированные модели
<p>Элементарных схем подготовки и предохранения</p> <p>1. </p> <p>14. </p> <p>Элементарных схем сложных движений</p> <p>1. </p> <p>17. </p>	

Принятые в таблице 1 обозначения: P, T – каналы подвода и слива рабочей жидкости, соответственно; A, B – каналы вывода рабочей жидкости от гидро-распределителя к исполнительным органам технологической машины.

В четвертой главе исследовано влияние вариативности процесса образования структурных моделей агрегатно-модульных ГУ на геометрические параметры – габаритные и присоединительные размеры гидроаппаратов и монтажных корпусов.

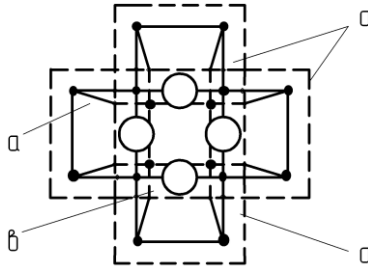
Разработка унифицированных структурных схем монтажного корпуса основывается на исследовании решений множества задач, каждая из которых представляет собой определенную элементарную гидросхему с порядковым номером $n = 1, 2, \dots, i$. Пусть количество коммуникационных каналов H одно-

го исполнения унифицированного монтажного корпуса будет состоять из суммы коммуникационных каналов h_i гидросхемы с порядковым номером «1» и приращений Δh_i количества каналов, которое получено при решении гидросхем со следующими порядковыми номерами, т. е.

$$H = h_1 + \sum_{i=2}^n \Delta h_i, \quad i = \overline{2, n}. \quad (11)$$

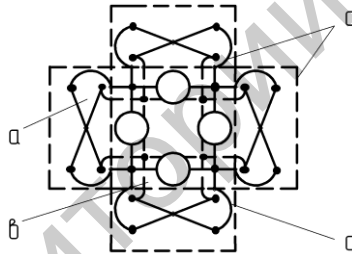
Задача состоит в том, чтобы одним исполнением структурной схемы монтажного корпуса обеспечить решение максимального количества гидросхем. Очевидно, что этого можно достичь, если структурные схемы монтажного корпуса рассматривать в такой последовательности, чтобы приращение Δh_i коммуникационных каналов было бы минимальным, т. е. $n \rightarrow \max$ при $\Delta h_i \rightarrow \min$. С учетом этого условия нами построены три унифицированных исполнения структурных схем монтажных корпусов. Во второй главе диссертации установлено, что разработку сборочных чертежей агрегатно-модульных ГУ можно упростить, если использовать в этом процессе схемы соединений гидроаппаратов, которые составлены по принципиальной гидросхеме. Для решения задачи построения схемы соединений гидроаппаратов нами предложено структурную схему монтажного корпуса, далее соединительно-монтажного модуля (СММ), рассматривать как гидравлическую, отображающую его конструктивное устройство. В связи с чем нами введены обозначения плоскостей СММ, позволившие разработать на основе полученных в третьей главе диссертации структур гидроаппаратов и универсальной структуры СММ общие мультиграфы соединения двухходовых и четырехходовых гидроаппаратов (рисунки 6, 7). На рисунках 6 и 7 вершины мультиграфов в виде точек обозначают соединения гидравлических каналов монтажного корпуса между собой, а также каналы для прохода рабочей жидкости на присоединительных плоскостях гидроаппаратов. Вершины в виде окружностей обозначают магистральные каналы СММ, которые обычно используются в качестве гидролиний подвода и слива рабочей жидкости принципиальных гидросхем. Штриховые контурные линии структуры СММ обозначают плоскости для установки гидроаппаратов, а внутреннее поле – плоскости для присоединения смежных СММ при конструировании ГУ. Ребра мультиграфов обозначают каналы соединения гидроаппаратов между собой посредством СММ (гидролинии связи на принципиальных гидросхемах приводов). То есть мультиграфы несут в себе информацию не только о гидравлических соединениях гидроаппаратов и СММ, но и об объемном их представлении. Кроме того, расширенное множество решений, которое можно получить при помощи мультиграфов (универсальных структур) путем удаления из избыточной универсальной структуры неиспользуемых при конструировании ГУ ребер и вершин, многократно превосходит исходное. А так как мультиграфы дают представление и о пространственном расположении элементов ГУ, то выбор конфигурации каналов уни-

версальной структуры, на которой гидроаппараты соединены между собой так же как и на гидравлической схеме, является фактически схемой соединений элементов.



a – структура двухходового гидроаппарата; *b* – структура СММ

Рисунок 6. – Общий мультиграф соединения двухходовых гидроаппаратов (клапаны: предохранительный, редукционный, обратный, давления; дроссель, регулятор расхода)



a – структура гидрораспределителя; *b* – структура СММ

Рисунок 7. – Общий мультиграф соединения четырехходовых гидроаппаратов (гидрораспределителей)

Для того чтобы выполнить параметрический синтез агрегатно-модульных ГУ, проанализируем причины, препятствующие оптимальному проектированию входящих в ГУ компонентов (СММ, гидроаппаратов, замыкающих блоков, блоков распределителей). Совокупность признаков совершенства входящих в ГУ компонентов, определяемых как наилучшие значения их параметров, запишем в следующем виде:

$$t_1(x) \rightarrow \text{extr}; t_2(x) \rightarrow \text{extr} \dots t_m(x) \rightarrow \text{extr}, \quad (12)$$

$$x \in D \quad x \in D \quad x \in D,$$

где $t_i(x)$, $i = 1, 2, \dots, m$ – показатели качества входящих в ГУ компонентов: вес, трудоемкость изготовления, энергетические характеристики, надежность и т. п. D – множество допустимых вариантов проектируемой конструкции.

Исходя из этого задача многокритериальной оптимизации ГУ может быть записана следующим образом:

$$T = \{t_1(x), t_2(x), \dots, t_m(x)\} \rightarrow \text{opt}, \quad (13)$$

$$x \in D$$

при $t_i(x) \rightarrow \text{extr}, i = 1, 2, 3, \dots, m,$

где T – набор показателей качества; opt – оператор оптимизации, подлежащий идентификации в процессе решения задачи. Исходя из необходимости обеспечить собираемость ГУ, входящие компоненты должны иметь соответствующие присоединительные размеры, которые должны быть идентичными по двум ориентированным плоскостям: горизонтальным и вертикальным. По горизонтальным плоскостям соединяются между собой замыкающие блоки, блоки распределителей и соединительно-монтажные модули (монтажные корпуса), по вертикальным плоскостям – соединительно-монтажные модули и присоединительные блоки (гидроаппараты). Из этого следует, что оптимизация присоединительных размеров по этим двум плоскостям приводит к оптимизации ГУ в целом. Обе эти плоскости присутствуют только на соединительно-монтажном модуле и создают его форму, в то время как остальные блоки имеют только по одной плоскости. Таким образом, разработка присоединительных размеров СММ является основой для разработки всей гаммы входящих в ГУ компонентов. Совместным решением выражений (4) и (13) получена зависимость показателей оптимальности соединительно-монтажного модуля от его геометрических параметров:

$$X = \frac{c_1}{18d^2 d_3} \times (d(1 + 2k \sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{2[\sigma]}}) + 2d_3 + 2\Delta_1 + 4\Delta_2 + 2\Delta_3)^2 \times (k_1 d_3 (1 + \sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{[\sigma_1]}}) + 3\Delta +$$

$$+ 2 \sqrt{0,25d_3^2 (k_1^2 + 2k_1^2 \sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{[\sigma_1]}} + 2k_1 \sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{[q]} - 1) + d_3 (k_1 \Delta + k_1 \Delta \sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{[\sigma_1]}} + k_1 \Delta_2 \sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{[\sigma_1]}} - \Delta_\Sigma) + \Delta^2 - \Delta_\Sigma^2}) +$$

$$+ \frac{c_2}{6d_3 d} \cdot (d(1 + 2k \sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{2[\sigma]}}) + 2d_3 + 2\Delta_1 + 4\Delta_2 + 2\Delta_3) \cdot (k_1 d_3 (1 + \sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{[\sigma_1]}}) + 3\Delta +$$

$$+ 2 \sqrt{0,25d_3^2 (k_1^2 + 2k_1^2 \sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{[\sigma_1]}} + 2k_1 \sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{[\sigma_1]}} - 1) + d_3 (k_1 \Delta + k_1 \Delta \sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{[\sigma_1]}} + k_1 \Delta_2 \sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{[\sigma_1]}} - \Delta_\Sigma) + \Delta^2 - \Delta_\Sigma^2}) +$$

$$+ \frac{c_3}{2d_3} \cdot (k_1 d_3 (1 + \sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{[\sigma_1]}}) + 3\Delta +$$

$$+ 2 \sqrt{0,25d_3^2 (k_1^2 + 2k_1^2 \sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{[\sigma_1]}} + 2k_1 \sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{[\sigma_1]}} - 1) + d_3 (k_1 \Delta + k_1 \Delta \sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{[\sigma_1]}} + k_1 \Delta_2 \sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{[\sigma_1]}} - \Delta_\Sigma) + \Delta^2 - \Delta_\Sigma^2}) +$$

$$+ \frac{c_4}{3d} \times (d(1 + 2k \sqrt{\frac{P_{\text{НОМ}}}{2[\sigma]}}) + 2d_3 + 2\Delta_1 + 4\Delta_2 + 2\Delta_3), \quad (14)$$

где d и d_3 – диаметры магистральных и коммуникационных каналов СММ соответственно, мм; k и k_1 – коэффициенты приведения наружного диаметра уплотнительного кольца к диаметрам магистральных и коммуникационных каналов СММ соответственно; $p_{ном}$ – номинальное давление в системе, МПа; $[\sigma]$ и $[\sigma]_1$ – допустимые напряжения растяжения материала шпилек, стягивающих СММ и винтов крепления гидроаппаратов, соответственно, МПа; Δ – минимальное расстояние между наружными кромками смежных уплотнительных колец, мм; Δ_1 – конструктивный зазор по диаметру шпильки, мм; Δ_2 – конструктивно задаваемый размер стенки между двумя скрещивающимися отверстиями, мм; Δ_3 – размер стенки от края плоскости СММ до края отверстия для установки шпильки, мм; Δ_Σ – размер стенки между крепежными отверстиями, мм. То есть оптимизировать параметры СММ возможно на основе исследованной общей критерия его оптимальности X , используя в качестве варьируемых параметров коэффициенты важности критериев C_1 – C_4 и соотношения диаметров каналов d/d_3 . 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} (индексы переменных $J = 1, 2, \dots, 8$, $K = 1, 2, \dots, 10$). Графики вариаций по значениям K и J для $J = 8$ и $K = 8$ приведены на рисунке 8.

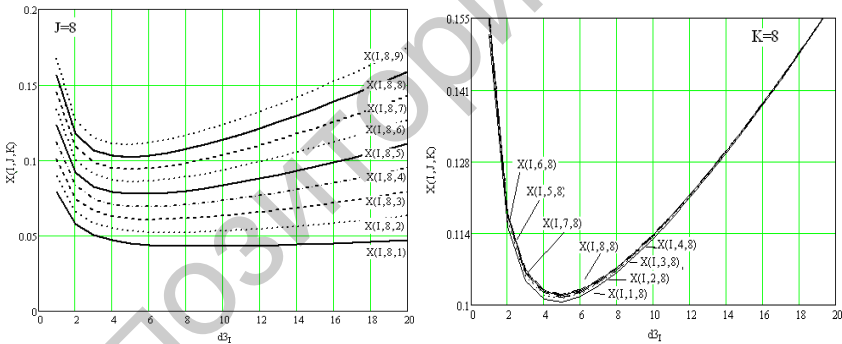
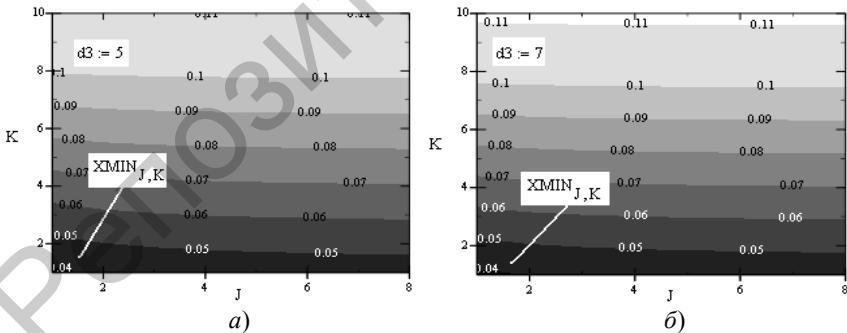


Рисунок 8. – Зависимость критерия оптимальности СММ X от коэффициентов важности критериев C_1 – C_4 для индексов переменных $J, K = 8$ и вариациях индексов K и J

Анализ рисунка 8 показывает, что 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, значения X_{\min} увеличиваются, а размер d_3 , как и в предыдущем случае, уменьшается (т. е. соотношение d/d_3 увеличивается). Изменение X_{\min} происходит в диапазоне 0,04–0,07 (примерно в 1,9 раза). Вместе с тем, если установить определенный размер диаметра канала d_3 , то вариации индексов переменных J и K позволяют получить области оптимальных значений коэффициентов важности параметров C_1 – C_4 . Результаты таких исследований для $d_3 = 5$ и 7 приведены на рисунке 9. Таким образом, численные исследования выражения (14) позволили разработать алгоритм проектирования гаммы компонентов агрегатно-модульных ГУ, который заключается в следующем. Чтобы определить размеры СММ, необходимо задаться: соотношением коэффициентов важности критериев C_3/C_4 с учетом одновременно работающих согласно гидросхеме исполнительных гидромеханизмов; величиной коэффициентов важности критериев C_1 и C_2 , определяющих степень важности параметров V и S гидроблока управления по отношению к гидравлическим потерям давления Δp в каналах СММ; диаметром вертикального канала d , исходя из требуемой пропускной способности СММ. После чего, используя выражение (14), определить соотношение габаритных размеров СММ и, учитывая принятый размер d , выполнить расчеты размеров СММ, а по условию собираемости ГУ выполнить проектирование всей гаммы компонентов. Данный метод расчета и проектирования гаммы компонентов агрегатно-модульных ГУ реализован при разработке унифицированных функциональных блоков.



$a - d_3 = 5$ мм; $b - d_3 = 7$ мм

Рисунок 9. – 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

В пятой главе изложены исследования факторов, учитываемых при принятии решений в процессе конструирования агрегатно-модульных ГУ (масса, цена, сроки и затраты на создание, энергозатраты в эксплуатации, инвариант-

ность структур монтажного корпуса, внешние условия – требования со стороны технологической машины, которая комплектуется данным ГУ).

Целью агрегатно-модульного конструирования ГУ является поиск среди множества альтернатив оптимальных решений, отражающих расположение элементов в пространстве, их гидравлические соединения между собой и позволяющих установить детерминированную логическую связь: гидросхема → сборочный чертеж ГУ. Так как в процессе конструирования агрегатно-модульных ГУ разработчику приходится на основе учета множества критериев принимать решения по выбору вариантов, задача принятия решений (ЗПР) сформулирована следующим образом:

$$\text{ЗПР} = \langle A, K, \text{Мод}, \Pi \rangle,$$

где A – множество альтернатив проектного решения; $K = (K_1, K_2, \dots, K_m)$ – множество критериев, по которым оценивается соответствие альтернативы поставленным целям; Мод: $A \rightarrow K$ – модель, позволяющая для каждой альтернативы рассчитать вектор критериев, Π – решающее правило для выбора наиболее подходящей альтернативы в многокритериальной ситуации. В связи с тем что разрабатывать структурные модели ГУ необходимо практически по каждой новой принципиальной гидросхеме, речь идет здесь о множестве математических моделей, которые названы в дальнейшем – обобщенные модели.

Конструкция конкретного ГУ является результатом реализации принципиальной гидросхемы привода в ее материализованное представление – «гидроблок в металле», где гидросхема является постановочной задачей, а «гидроблок в металле» – ее решением. Построение конструкции ГУ с использованием блоков следует начинать с составления структурной схемы соединений. Для удобства проведения этапов синтеза ГУ принципиальную гидросхему необходимо преобразовать в граф, вершины которого обозначают компоненты (гидроаппараты, источники давления, фильтры и гидробак, а также выводы ГУ), а ребра – линии связи между перечисленными гидравлическими компонентами. После построения графа проводим синтез элементарных структурных схем, под которыми в дальнейшем будем понимать схему пути на графе между i -ми корневыми вершинами. Процедура поиска технических решений путей, моделирующих элементарные схемы «подготовки и предохранения» и «сложных движений» включает синтез бинарных матриц гидравлических схем (15) и универсальных структур (16), морфологический анализ технических решений и построение элементарных структурных схем способом выделения на основе общих мультиграфов. При этом алгоритмом является принципиальная гидросхема, устанавливающая порядок соединения гидроаппаратов, а условием, позволяющим принять решение об использовании синтезированной элементарной структурной схемы – выражение минимальной стоимости ГУ (8), которое с учетом ограничений, устанавливаемых техническими требованиями со стороны комплектуемого оборудования, является решающим правилом (Π) задачи (ЗПР):

$$M = \begin{matrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ w_4 \end{matrix} \begin{bmatrix} \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet \\ \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet & \bullet \end{bmatrix}, \quad (15)$$

$$\begin{matrix} y_{11} & y_{12} & y_{13} & y_{14} & y_{21} & y_{22} & y_{23} & y_{24} & & & y_{41} & y_{42} & y_{43} & y_{44} \end{matrix}$$

где M – бинарная матрица принципиальной гидравлической схемы; $w_{1...4}$ – обозначения гидроаппаратов элементной структурной схемы – вершин; $y_{11...44}$ – параметры установленных связей (ребер) между гидроаппаратами.

$$M1 = \begin{matrix} w_1^y \\ w_2^y \\ w_3^y \\ w_4^y \end{matrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}, \quad (16)$$

$$\begin{matrix} y_{11} & y_{12} & y_{13} & y_{14} & y_{21} & y_{22} & y_{23} & y_{24} & & & y_{41} & y_{42} & y_{43} & y_{44} \end{matrix}$$

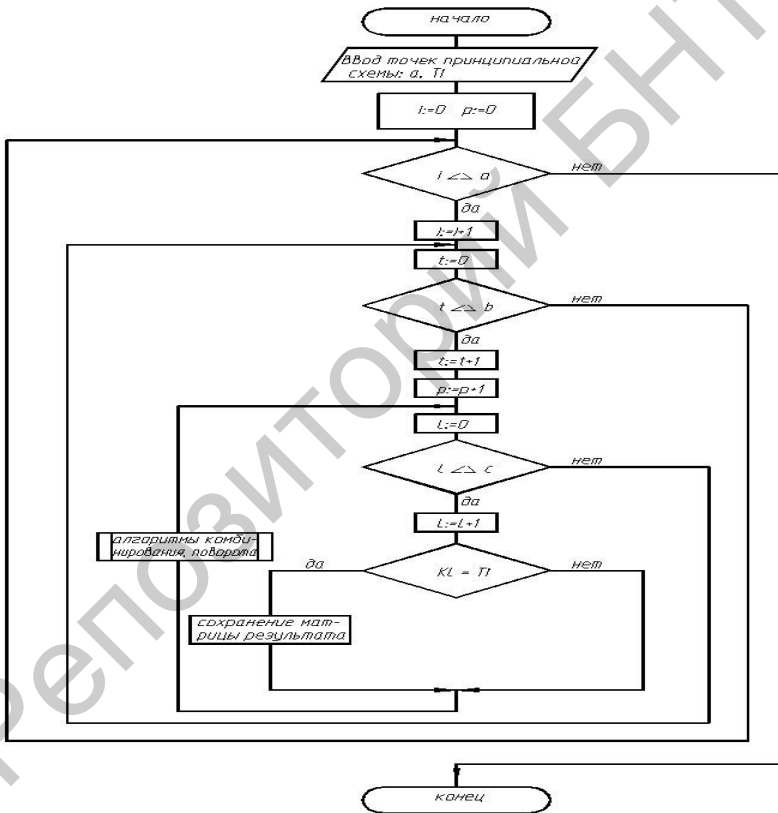
где $M1$ – бинарная матрица универсальной структуры; $w_{1...4}^y$ – обозначения граней соединительно-монтажного модуля универсальной структуры; $y_{11...44}$ – параметры, устанавливающие наличие ребер между вершинами графов-гидроаппаратов и коммуникационными каналами соединительно-монтажного модуля.

Для получения структурной схемы соединений гидроблока управления используем способ наращивания элементных структурных схем, в процессе которого проводим согласование соединений их между собой согласно исходной принципиальной гидросхеме с учетом требований со стороны комплектуемого оборудования. В завершение по условию (8) рассчитываем величину $f(l)$ всего множества вариантов ГУ и выбираем тот, у которого она минимальная. Полученная таким образом структурная схема соединений дает возможность уже на начальной стадии проекта оценить параметры ГУ, так как параметры составляющих ее элементов заранее известны. В этом случае сборочный чертеж ГУ выполняется на основе методического приема по преобразованию структурной схемы соединений в схему соединений элементов. Суть этого приема заключается в том, что для всех элементов (гидроаппаратов, СММ, узлов реверса и замыкающих блоков) разработаны гидравлические схемы, отображающие их форму, при этом выходные линии гидросхем элементов расположены идентично. Схема соединений элементов позволяет получить практически полную информацию о конструктивном устройстве и параметрах ГУ.

Данный метод расчета и проектирования агрегатно-модульных ГУ реализован при разработке экспериментальных образцов гидроприводов для специальных агрегатных станков мод. 1ХМА..., токарных полуавтоматов моделей КТ61У, круглошлифовальных полуавтоматов мод. 3У12УА и 3М153, станций гидропривода мод. С100-3У12УА, С100-3У12УА.01, С100-3М153, С100.1-7117, С80-4ЯУ,

С100-РК2 и др. (всего 42 различных модели гидроприводов и станций гидропривода). По результатам внедрения разработанных моделей гидроприводов и станций гидропривода установлено, что сроки проектирования гидроприводов машин сокращаются до 60 %, повышается качество проектов.

Для автоматизированного проектирования структурной схемы соединения ГУ разработан алгоритм, приведенный на рисунке 10. Данный алгоритм использован при разработке экспериментальных образцов гидроблоков управления термопластавтомата мод. БЗСТ 125/250, по результатам которой установлено снижение затрат и сроков проектирования и внедрения ГУ в производство.



T – матрица ПС; K – матрица СММ; i – номер строки матрицы T ;
 t – номер СММ; a – количество строк матрицы T ; b – количество СММ;
 l – номер строки матрицы K ; c – количество строк матрицы K ;
 p – номер гидроаппарата ПС

Рисунок 10. – Алгоритм проектирования схемы соединения ГУ

В шестой главе изложены результаты исследований и внедрения в производство агрегатно-модульных ГУ, адаптированности системы компонентов для агрегатно-модульного конструирования ГУ к техническим требованиям со стороны технологического оборудования, приведена сравнительная характеристика технико-экономических показателей разработанных ГУ и аналогов.

На основе структурных моделей и алгоритма проектирования системы компонентов агрегатно-модульного конструирования ГУ, при непосредственном участии автора, разработаны унифицированные функциональные блоки с условными проходами $D_y = 10, 20$ мм и давлением до 20 МПа. Сравнение полученных параметров указанных блоков с лучшими зарубежными аналогами (фирм Rexroth, Bosch, Parker-Hannifin) показали соответствие мировому уровню, что подтверждено картой технического уровня (КУ2-053-2367-86). С учетом этого обстоятельства был разработан полный комплект нормативно-технической документации, в том числе технические условия ТУ2-053-2367-86, и освоено с 1985 г. серийное производство данных блоков на Гомельском ПО «Гидроавтоматика». Вместе с тем анализ конструкций разработанных функциональных блоков показал, что расширить типоразмерный ряд по условным проходам и повысить «номинальное давление» компонентов агрегатно-модульных ГУ можно за счет исключения переходных плит в блоках. Выполненная нами разработка унифицированных функциональных блоков на основе гидроаппаратов встраиваемого монтажа позволила улучшить в 1,6 раза (с 20 до 32 МПа) показатель их технического уровня «номинальное давление», а также расширить типоразмерный ряд по условным проходам в 2,5 раза (с $D_y = 10$ и 20 до $D_y = 6, 10, 16, 20, 32$ мм). Блоки на основе гидроаппаратов встраиваемого монтажа соответствуют параметрам, используемым в настоящее время в промышленности стыковых гидроаппаратов и по функциональным возможностям допускают их замену. В ГГТУ им. П. О. Сухого проводились экспериментальные работы с целью определения технико-экономических показателей унифицированных функциональных блоков на основе гидроаппаратов встраиваемого монтажа (ФБВ). В результате сравнения установлено, что ГУ, изготовленный на основе ФБВ, имеет преимущество перед аналогом по следующим показателям: уменьшен габаритный размер по высоте на 110 мм; снижена масса изделия на 10 кг ($\approx 50\%$); уменьшена трудоемкость изготовления на $\approx 30\%$. В 1998 г. Гомельским заводом «Гидропривод» были выпущены гидростанции на основе ФБВ следующих моделей: С63-1Н, С80-4Я, С80-4ЯУ общим количеством около 100 штук. Хойникским заводом «Гидроаппаратура» освоен серийный выпуск гидростанций С80-4ЯУ (ТУ РБ 14704940.002-2000). В течение 1998–2009 гг. изготовлены и поставлены потребителям станции гидропривода на базе ФБВ общим количеством свыше 300 штук. В течение 2002–2006 гг. выполнен ряд ОКР по разработке станций гидропривода на основе ФБВ, которые внедрены в производство: «Разработка, изготовление и поставка станции гидропривода суперкаландра мод. СК-25», № госрегистрации 20023994; «Разработка, изготовление, испытание и поставка станции гидропривода движения тележки линии “Primultini”», № гос-

регистрации 2004354; «Разработка, изготовление, испытание и поставка станции гидропривода: симультанного гидропривода; предварительно-загрузочного устройства линии “Rauma-Reppola”», № госрегистрации 20042752; «Разработка, изготовление и испытание станции гидропривода пресса», № госрегистрации 2006256.

Уточнить адекватность разработанных в пятой главе диссертации методов конструирования оптимизированных по структуре и параметрам агрегатно-модульных ГУ позволяет сравнительная характеристика технико-экономических показателей ГУ, изготовленных на основе унифицированных функциональных блоков с показателями аналогов. В этой связи целью исследования явилась проверка компоновочных возможностей разработанной системы блоков, приспособленность ее к техническим требованиям со стороны технологического оборудования. Определению также подлежала корреляционная зависимость технико-экономических параметров ГУ на основе блоков в сравнении с серийными образцами гидроблоков управления. Для выполнения поставленной задачи нами были выполнены работы по модернизации изготавливаемых отечественной промышленностью образцов гидропривода различного технологического оборудования с уровнями серийности от единичных специальных до серийных с программой выпуска свыше 1000 штук в год. Всего было подвергнуто модернизации 42 образца, среди которых гидроприводы круглошлифовальных, агрегатных, трубоотрезных станков; автоматических линий; лесорам; токарных полуавтоматов и др. На основе принципиальных гидросхем гидроприводов были спроектированы ГУ по изложенным в пятой главе диссертации методикам, особенностью которых является необходимость принятия решений на этапах синтеза структурных схем (элементных и общей схемы ГУ). Для описания множества моделей ГУ и решения задачи принятия решений использовался морфологический анализ. Как показали результаты функциональных испытаний на соответствие основным параметрам, все гидроприводы соответствовали заданным техническим требованиям и обеспечивали функционирование по циклам работы технологических машин. По результатам испытаний комиссией были сделаны выводы об их пригодности к эксплуатации в составе оборудования. Экспериментальные образцы гидроприводов для специальных агрегатных станков мод. 1ХМА..., токарных полуавтоматов мод. КТ61У, а также круглошлифовальных полуавтоматов мод. ЗУ12УА и ЗМ153 поставлены заводам-изготовителям станков и в настоящее время эксплуатируются в составе оборудования.

В процессе испытаний и исследований гидроприводов установлено уменьшение массы ГУ до 25 %, потребляемой мощности – до 15 %, сокращение затрат и сроков на проектирование и внедрение до 60 %; повышение уровня унификации ГУ до 85–100 %. При этом процесс создания структурных схем соединений на основе решения задач ЗПР вполне согласуется с этапами типовой последовательности разработки приводов гидравлических систем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Установлено, что разработанные системы агрегатно-модульного конструирования ГУ (гамма модульной гидроаппаратуры, функциональные блоки продольного и вертикального монтажа) ориентированы на структурные изменения гидроаппаратов и монтажных корпусов, при этом серийно изготавливаемая специализированными заводами гидроаппаратура создана без учета монтажных корпусов и стандартизирована по присоединительным размерам, однако расчет и конструирование агрегатно-модульных гидроблоков управления гидроприводов технологического оборудования со сниженными массой и гидравлическими потерями давления рабочей жидкости, позволяющих уменьшить затраты и сроки на создание и внедрение ГУ в производство, необходимо выполнять на основе системных исследований взаимодействия признаков оптимальности ГУ, сопровождающих вариативный процесс их конструирования, обусловленный рядом систематических (закономерные изменения принципиальных гидравлических схем приводов, связанные с конструктивными особенностями технологических машин; присоединительных размеров гидроаппаратов, вызванные их параметрической оптимизацией; граничных условий, исходящих от используемых в ГУ аппаратов и устройств комплектуемой машины при их функционировании) и случайных (ошибки при конструировании и выход параметров ГУ за допустимые пределы, которые вызваны тем, что задачу поиска оптимальных структур ГУ решают на основе эвристического подхода) факторов [2, 3, 7–10, 21, 22, 32–38].

2. Обосновано расчетами и экспериментально и подтверждено внедрением в производство, что для повышения эффективности гидроблоков управления гидроприводов технологического оборудования (снижение массы, уменьшение гидравлических потерь давления, сокращение затрат и сроков на проектирование и внедрение в производство, уменьшение трудоемкости изготовления, увеличение уровня унификации) необходимо реализовать закономерности образования структуры агрегатно-модульных ГУ в виде типовых решений и алгоритмов их проектирования. К таким закономерностям относятся: пространственное расположение гидроаппаратов в зависимости от объема монтажного корпуса, площади его наружной поверхности и гидравлических потерь давления при проходе рабочей жидкости в магистральных каналах подвода и слива, а также от количества гидроаппаратов, используемых в принципиальной гидравлической схеме; изменение структуры гидравлических каналов монтажного корпуса при изменениях вариативных принципиальных гидросхем приводов; изменение присоединительных размеров монтажного корпуса и гидроаппаратов в зависимости от объема монтажного корпуса, площади его наружной поверхности и гидравлических потерь давления в магистральных и коммуникационных каналах; изменение структуры гидравлических каналов гидроаппаратов при изменениях вариативных принципиальных гидросхем приводов; изменение стоимости ГУ при изменениях вариативных эле-

ментных структурных схем и последовательности соединения их в структурную схему соединений ГУ. В соответствии с выбранной стратегией системного формирования структуры агрегатно-модульных ГУ разработаны инвариантные модели и алгоритмы указанных закономерностей, которые использованы при создании новых методов конструирования оптимальных структурных схем агрегатно-модульных ГУ различного технологического оборудования, а также оптимизации присоединительных размеров системы компонентов для агрегатно-модульного конструирования ГУ [2, 3, 6, 9, 11, 12, 14, 17, 18, 27, 29].

3. Разработаны новые методы для формирования структуры гидравлических каналов монтажного корпуса агрегатно-модульных ГУ, основанные на включении в процесс разработки структурных схем монтажного корпуса комбинированных моделей, объединяющих в себя поверхностную и структурную модели гидравлических каналов компонентов агрегатно-модульного конструирования ГУ. Обосновано расчетами и конструированием, а также подтверждено экспериментально и внедрением в серийное производство, что включение в процесс разработки структурных схем монтажного корпуса ГУ комбинированных моделей позволяет достичь минимального числа исполнений соединительно-монтажного модуля по гидравлическим схемам (три исполнения). При этом уровень унификации ГУ различных технологических машин увеличивается до 85–100 % [1, 2, 3, 8]. Кроме того, комбинированные модели, представляющие собой интегрированные решения структур ГУ элементарных схем гидросхем приводов, расширенные множества которых многократно превосходят исходные, несут в себе основу разработки структурных схем инвариантных агрегатно-модульных ГУ [2–4, 13, 15, 16, 19, 23, 24, 26, 39–49].

4. Разработаны новые методы расчета и конструирования агрегатно-модульных гидроблоков управления с учетом пространственной компоновки гидроаппаратов, отличающиеся от известных тем, что структурная схема соединений ГУ разрабатывается на основе обобщенной математической модели ГУ при помощи комбинированных моделей элементарных схем, что позволяет установить функциональную зависимость переменных значений параметров структуры агрегатно-модульных ГУ (стоимость конструктивного варианта ГУ, включающая состав, определяющий номенклатуру и количество входящих в ГУ аппаратов и монтажных корпусов, а также эксплуатационные затраты при работе ГУ; структурная схема гидравлических каналов монтажного корпуса) с признаками управляющих переменных (пространственное расположение гидроаппаратов на монтажном корпусе гидроблока управления, вариативность принципиальных гидросхем приводов, технические требования со стороны технологического оборудования), которые позволяют путем анализа инвариантных альтернатив проектных решений проводить разработку оптимальных структур агрегатно-модульных ГУ [3, 5, 6, 24, 25, 28, 30, 31]. Экспериментально установлено, что по сравнению с обычным проектированием на основе эвристического подхода уменьшается масса и энергопотребление ГУ до 25 и 15 %, соответственно [1–3, 8, 31, 50–55].

5. Определены математические зависимости присоединительных размеров монтажного корпуса и гидроаппаратов от: объема монтажного корпуса, площади его наружной поверхности и гидравлических потерь давления в магистральных и коммуникационных каналах, которые применимы для конструирования компонентов агрегатно-модульных ГУ. Подтверждено результатами расчетов и конструирования и внедрения в серийное производство, что учет показателей прочности монтажного корпуса и размеров уплотнительных элементов при расчетах геометрических размеров компонентов позволяет увеличить показатель технического уровня компонентов «номинальное давление» в 1,6 раза (с 20 до 32 Мпа), а также расширить типоразмерный ряд по условным проходам в 2,5 раза (с $D_y = 10, 20$ мм до $D_y = 6, 10, 16, 20, 32$ мм) и улучшить комплексный показатель качества «удельная масса» более, чем в 10 раз [2, 3, 13, 16, 25, 30].

6. На основе систематизации и выявленных закономерностей построения схемных решений гидроприводов технологического оборудования, а также исследований общего критерия оптимальности ГУ, включающего такие показатели, как: занимаемые гидроблоками управления производственные площади, их материалоемкость и энергопотребление, и анализа комбинированных моделей элементарных схем «подготовки и предохранения» и «сложных движений» разработаны универсальные структуры, каждая из которых содержит в себе десятки тысяч вариантов схем соединения двухходовых и четырехходовых гидроаппаратов. При этом универсальные структуры несут в себе информацию не только о гидравлических соединениях гидроаппаратов посредством монтажных корпусов, но и об объеме их представлении, в связи с чем выбор необходимого фрагмента универсальной структуры является фактически схемой соединений элементов. Установлено результатами расчетов и конструирования, что схема соединений элементов, дающая практически полную информацию о конструктивном устройстве и параметрах ГУ, позволяет исключить этап изготовления и исследований экспериментальных образцов, что сокращает сроки и затраты на проектирование и внедрение в производство ГУ до 60 % [1–3, 8, 18, 20, 30].

7. Разработана методика структурного синтеза ГУ, согласно которой исходная принципиальная схема и структурные схемы монтажного корпуса описываются математически при помощи разреженных матриц, обрабатываемых по алгоритму, устанавливающему бинарную связь между ними, которая позволяет автоматизировать процесс разработки структурной схемы соединений ГУ при помощи средств САПР [2, 3, 41] и за счет этого сократить сроки разработки и внедрения ГУ в производство.

8. На основе исследований общего критерия оптимальности ГУ выявлены области паретовских решений, позволяющие определять соотношения параметров: объема, площади наружной поверхности монтажного корпуса, гидравлических потерь давления в магистральных и коммуникационных каналах для машин, работающих в различных условиях эксплуатации. Установлено, что при умножении количества соединительно-монтажных модулей в ГУ для того,

чтобы повысить эффективность (снизить металлоемкость и энергозатраты) ГУ, необходимо увеличивать отношение диаметра магистральных к диаметру коммуникационных каналов. Приоритет коэффициентов важности критериев: объем гидроблока управления и площадь его наружной поверхности, что наиболее актуально для мобильных машин, приводит к уменьшению параметров объема и площади наружной поверхности монтажного корпуса гидроблоков управления [25], [31].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Результаты выполненной работы внедрены в производство на машиностроительных предприятиях СНГ, в том числе на Гомельском заводе «Гидропривод» внедрены в серийное производство унифицированные функциональные блоки (технические условия ТУ2-053-1778–85, справка о начале выпуска от 13.04.1989 г.), и на их базе с 1987 г. станции гидропривода: С100.1-7117 (технические условия ТУ2-053-1783–89); С100-3У12УА, С100-3У12УА.01, С100-3М153 (технические условия ТУ2-053-1778–89), а с 1998 г. там же на базе функциональных блоков внедрены в производство станции гидропривода С63-1Н, С80-4Я и С80-4ЯУ (Акт от 18.10.2005 г.). На Хойникском заводе «Гидроаппаратуры» освоен с 2000 г. серийный выпуск станций гидропривода С80-4ЯУ (технические условия ТУ РБ 14704940.002–2000, Акт от 28.10.2005 г.). Экономический эффект от внедрения унифицированных функциональных блоков за первые три года выпуска составил 1538355 р. (в ценах 1989 г.) (Справка от 13.04.1989 г.) и получен за счет уменьшения массы ГУ до 25 %, потребляемой мощности – до 15 %, сокращения затрат и сроков на проектирование и внедрение – до 60 %. Унифицированные функциональные блоки защищены пятью авторскими свидетельствами на изобретения и одним патентом на полезную модель.

Основные положения конструирования агрегатно-модульных ГУ, изложенные в методических рекомендациях «Создание конструкций гидроприводов машин методом агрегатирования» приняты к использованию во ВНИИ-Гидроприводе (г. Харьков), ВНИИДМАШ (г. Москва), МСКБ АЛ и СС (г. Москва) (Акты об использовании методических рекомендаций от: 18.04.1990 г.; 20.04.1990 г.; 27.04.1990 г.). Результаты работы используются в учебном процессе при подготовке студентов в УО «ГГТУ им. П. О. Сухого» по специальности 1 36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» (Акт о внедрении в учебный процесс от 04.10.2005 г.). Результаты работы могут быть применены на любом машиностроительном предприятии, которое использует гидрофицированное технологическое оборудование.

Область рационального использования теоретических и экспериментальных исследований не ограничивается созданием агрегатно-модульных ГУ различного технологического оборудования. Перспективным является также использование этих математических моделей и алгоритмов при создании гидросистем мобильных машин и летательных аппаратов, а также гидроблоков управления групп оборудования, обладающих конструктивным подобием.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Монографии

1. Создание конструкций гидроприводов машин методом агрегатирования / А.Я. Оксененко, Ф.А. Наумчук, П.О. Водопьян, Я.Е. Рубинфайн, В.И. Дорощенко, М.К. Гераймович, В.В. Пинчук, Г.Я. Салов // М. : НИИМАШ, 1985. – 77 с.
2. Пинчук, В.В. Синтез гидроблоков управления на основе унифицированной элементной базы / В.В. Пинчук. – Минск, Технопринт, 2001. – 140 с.
3. Пинчук, В.В. Расчет и конструирование агрегатно-модульных гидроблоков управления гидроприводов технологических машин / В.В. Пинчук, В.К. Шелег. – Гомель. : ГТТУ им. П.О. Сухого, 2010. – 270 с.

Статьи в научных журналах

4. Пинчук, В.В. Проектирование унифицированных функциональных блоков / В.В. Пинчук, Н.В. Кислов // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. – Сер. физ.-тэxn. навук. – 2001. – № 2. – С. 63–68.
5. Пинчук, В.В. Синтез гидроблоков управления на стадии технического проекта / В.В. Пинчук, Н.В. Кислов // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. – Сер. физ.-тэxn. навук. – 2001. – № 4. – С. 66–69.
6. Пинчук, В.В. Преобразование принципиальной гидросхемы в схему соединений при проектировании гидроблоков управления / В.В. Пинчук, А.В. Лифанов // Теория и практика машиностроения. – 2004. – № 1. – С. 28–31.
7. Пинчук, В.В. Формирование компоновочных решений гидроблоков управления / В.В. Пинчук // Теория и практика машиностроения. – 2004. – № 1. – С. 51–53.
8. Пинчук, В.В. Исследование системы функциональных блоков БФ в промышленных условиях / В.В. Пинчук, А.В. Лифанов // Материалы, технологии, инструмент, – 2004. – № 2. – С. 119–121.
9. Пинчук, В.В. Принципы построения гидравлических схем приводов машин / В.В. Пинчук // Вестн. БНТУ. – 2004. – № 2. – С. 82–84.
10. Пинчук, В.В. Методологические основы инженерного синтеза гидроблоков управления / В.В. Пинчук, А.В. Лифанов // Материалы, технологии, инструмент. – 2004. – № 4. – С. 41–43.
11. Пинчук, В.В. Способы монтажа гидроблоков управления / В.В. Пинчук // Вестник БНТУ. – 2004. – № 5. – С. 47–50.
12. Пинчук, В.В. Агрегатирование гидроаппаратуры и стандартизация присоединительных размеров / В.В. Пинчук // Вестн. БНТУ. – 2005. – № 1. – С. 83–84.
13. Пинчук, В.В. Оптимальное проектирование элементов агрегатного набора гидроблоков управления / В.В. Пинчук, А.В. Лифанов // Материалы, технологии, инструмент. – 2005. – № 3. – С. 49–51.

14. Пинчук, В.В. Формализация гидравлических схем приводов машин / В.В. Пинчук // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П.О. Сухого. – 2005. – № 4. – С. 30–36.

15. Пинчук, В.В. Конструирование гидроблоков управления на основе элементарных схем / В.В. Пинчук // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П.О. Сухого. – 2005. – № 4. – С. 23–29.

16. Пинчук, В.В. Элементная база агрегатно-модульного конструирования гидроблоков управления / В.В. Пинчук // Вестн. УО «Витебск. технолог. ун-т». – 2005. – Вып. 8. – С. 83–87.

17. Пинчук, В.В. Синтез гидравлических схем соединительно-монтажного модуля / В.В. Пинчук // Вестн. БНТУ. – 2006. – № 2. – С. 54–57.

18. Пинчук, В.В. Комбинированные модели гидроблоков управления / В.В. Пинчук // Вестн. БНТУ. – 2006. – № 4. – С. 44–46.

19. Пинчук, В.В. Синтез присоединительных размеров гидроаппаратов / В.В. Пинчук // Вестн. УО «Витебск. технолог. ун-т». – 2006. – Вып. 10. – С. 24–27.

20. Пинчук, В.В. Обобщенные модели гидроблоков управления / В.В. Пинчук // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П.О. Сухого. – 2007. – № 2. – С. 58–63.

21. Пинчук, В.В. Синтез элементарных схем гидроблоков машин на основе соединительно-монтажного модуля / В.В. Пинчук // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П.О. Сухого. – 2007. – № 2. – С. 64–68.

22. Гинзбург, А.А. Сравнение эффективности дроссельного регулирования скорости исполнительного органа гидропривода при параллельной и последовательной установке дросселя / А.А. Гинзбург, В.В. Пинчук // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П.О. Сухого. – 2007. – № 3. – С. 45–53.

23. Гинзбург, А.А. Критерии выбора параметров исполнительных органов гидроприводов с адаптацией к нагрузке / А.А. Гинзбург, В.В. Пинчук // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П.О. Сухого. – 2007. – № 3. – С. 38–44.

24. Пинчук, В.В. Проблема структурного синтеза агрегатно-модульных гидроблоков управления и пути ее решения / В.В. Пинчук // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П.О. Сухого. – 2009. – № 4 (39). – С. 53–61.

25. Пинчук, В.В. Построение структурных схем агрегатно-модульных гидроблоков управления на основе морфологических таблиц / В.В. Пинчук // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П.О. Сухого. – 2010. – № 1 (40). – С. 9–15.

26. 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.

27. Пинчук, В.В. Расчет присоединительных размеров 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. – С. 20–25.

28. Алгоритм проектирования системы компонентов агрегатно-модульных гидроблоков управления гидроприводов технологических машин / В.В. Пин-

чук [и др.] // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П.О. Сухого. – 2013. – № 2. – С. 25–30.

29. Пинчук, В.В. Параметрический синтез агрегатно-модульных гидроблоков управления гидроприводов технологических машин / В.В. Пинчук // Вестн. Брянск. гос. техн. ун-та. – 2015. – № 2 (46). – С. 50–54.

30. Пинчук, В.В. Опыт внедрения агрегатно-модульных компонентов при разработке гидравлического пресса и результаты исследований на нем режимов брикетирования древесных опилок / В.В. Пинчук, Н.В. Иноземцева // Вестн. Брянск. гос. техн. ун-та. – 2015. – № 3 (47). – С. 72–76.

31. Пинчук, В.В. Разработка компоновочного решения агрегатно-модульных гидроблоков управления и формы монтажного корпуса / В.В. Пинчук, С.Ф. Андреев, В.К. Шелег // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П.О. Сухого. – 2015. – № 4. – С. 14–21.

Статьи в сборниках научных трудов

32. Лейкин, И.С. Оптимизация гидроблоков управления автоматизированным оборудованием / И.С. Лейкин, В.В. Пинчук / Редкол. журн. «Станки и инструмент» – М., 1989. – 15 с. – Деп. в ВНИИТЭМР, № 11 // Библ. указ. ВИНТИ № 11. – С. 126.

33. Лейкин, И.С. Блочно-модульный метод построения гидросистем управления деревообрабатывающим оборудованием / И.С. Лейкин, И.С. Визиров, В.В. Пинчук // Технология, оборудование, организация и экономика машиностроительного производства. – 1989. – Сер. 4, вып. 2. – С. 10–14.

34. Пинчук, В.В. Синтез элементарных схем соединительно-монтажных модулей гидроприводов / В.В. Пинчук, Н.В. Кислов // Конструирование и эксплуатация автомобилей и тракторов. – 1990. – № 5. – С. 56–62.

35. Пинчук, В.В. Монтаж гидроблоков управления / В.В. Пинчук, А.В. Лифанов // Машиностроение. – Минск : УП «Технопринт». – 2004. – Вып. 20, Т. 2. – С. 133–138.

36. Пинчук, В.В. Элементарные схемы гидравлических приводов машин / В.В. Пинчук, А.В. Лифанов // Машиностроение. – Минск : УП «Технопринт». – 2004. – Вып. 20, Т. 2. – С. 139–144.

Статьи в сборниках материалов конференций

37. Пинчук, В.В. Исследование конструкции агрегатного набора гидравлических элементов / В.В. Пинчук, Н.В. Кислов // Материалы междунар. НТК ГПИ. – Гомель, 1–3 июля 1998г. : ГПИ; редкол.: А.С. Шагинян [и др.]. – 1998. – С. 96–98.

38. Пинчук, В.В. Оптимизация параметров гидроблоков аппаратуры / В.В. Пинчук, Г.Я. Салов // Материалы междунар. НТК ГПИ. – Гомель, 1–3 июля 1998г. : ГПИ; редкол.: А.С. Шагинян [и др.]. – 1998. – С. 183–186.

39. Пинчук, В.В. Исследование системы функциональных блоков БФ в промышленных условиях / В.В. Пинчук, А.В. Лифанов // Материалы междунар. НТК

ВГТУ. – Витебск, ноябрь 2003г.: ВГТУ; редкол.: С.М. Литовский [и др.]. – 2003. – С. 51–53.

40. Пинчук, В.В. Методологические основы инженерного синтеза гидроблоков управления / В.В. Пинчук, А.В. Лифанов // Материалы междунар. НТК ВГТУ. – Витебск, ноябрь 2003г.: ВГТУ; редкол.: С.М. Литовский [и др.]. – 2003. – С. 53–56.

41. Пинчук, В.В. Использование САПР при проектировании гидроблоков управления / В.В. Пинчук, А.В. Лифанов // Материалы V Междунар. НТК ГГТУ им. П.О. Сухого. – Гомель, 1 – 2 июля 2004: ГГТУ им. П.О.Сухого; редкол.: А.С. Шагинян [и др.]. – 2004. – С. 88–89.

42. Пинчук, В.В. Преобразование присоединительных размеров гидроаппаратов / В.В. Пинчук, А.В. Лифанов // Материалы V Междунар. НТК ГГТУ им. П.О. Сухого. – Гомель, 1 – 2 июля 2004: ГГТУ им. П.О.Сухого; редкол.: С.Б. Сарело [и др.]. – 2004. – С. 89–90.

43. Пинчук, В.В. Алгоритм проектирования элементов агрегатного набора гидроблоков управления / В.В. Пинчук, А.В. Лифанов // Материалы Междунар. НТК УО «Белорусско-Российский университет». – Могилев, 22 – 23 апреля 2004: УО «Белорусско-Российский университет»; редкол.: И.С.Сазонов [и др.]. – 2004. – С. 72–73.

44. Пинчук, В.В. Преобразование принципиальной гидросхемы в схему соединений при проектировании гидроблоков управления / В.В. Пинчук, А.В. Лифанов // Материалы Междунар. НТК УО «Белорусско-Российский университет». – Могилев, 22 – 23 апреля 2004: УО «Белорусско-Российский университет»; редкол.: И.С. Сазонов [и др.]. – 2004. – С. 58–59.

45. Гинзбург, А.А. Адаптация гидропривода с одновременно работающими исполнительными органами к нагрузке / А.А. Гинзбург, В.В. Пинчук // Материалы VI Междунар. НТК ГГТУ им. П.О. Сухого. – Гомель, 19 – 20 октября 2006: ГГТУ им. П.О. Сухого; редкол.: С.Б. Сарело [и др.]. – 2006. – С. 139–140.

46. Гинзбург, А.А. Использование дроссельного регулирования скорости / А.А.Гинзбург, В.В. Пинчук // Материалы VI Междунар. НТК ГГТУ им. П.О. Сухого. – Гомель, 19 – 20 октября 2006: ГГТУ им. П.О. Сухого; редкол.: С.Б. Сарело [и др.]. – 2006. – С. 140–141.

47. Пинчук, В.В. Оптимизация геометрических параметров компонентов гидроблоков управления гидроприводов технологических машин /В.В. Пинчук, П.В. Асос // Материалы Междунар. НТК БНТУ. – Минск, 17 – 19 ноября 2010: БНТУ; редкол.: Ф.А. Романюк [и др.]. – 2010. – С. 105–111.

48. Пинчук, В.В. Разработка структурных схем агрегатно-модульных гидроблоков управления гидроприводов технологических машин / В.В. Пинчук, А.А. Гинзбург // Материалы Междунар. НТК БНТУ. – Минск, 17 – 19 ноября 2010: БНТУ; редкол.: Ф.А. Романюк [и др.]. – 2010. – С. 112–117.

49. Пинчук, В.В. Расчет и конструирование монтажных корпусов агрегатно-модульных гидроблоков управления гидросистем технологического оборудования / В.В. Пинчук, А.А. Гинзбург // Материалы Междунар. НПК БНТУ. –

Минск, 24-28 октября 2011: БНТУ; редкол.: А.И.Сафонов [и др.]. – 2011 – С. 76–81.

Авторские свидетельства и патенты

50. Устройство для монтажа гидро- и пневмоаппаратуры : а. с. 960472 СССР, МКИ³ F 15 C 5/00. / В.В. Пинчук, М.К. Гераймович, В.И. Дорощенко (Гомельское ГСКТБ ГА). – № 3005667//18–24 ; заявл. 12.11.80 ; опубл. 07.12.83 // Открытия. Изобрет. – 1983. – № 12. – С. 140.

51. Устройство для монтажа гидро- и пневмоаппаратуры : а. с. 1059285 СССР, МКИ³ F 15 C 5/00. / В.В. Пинчук, С.И. Певзнер, В.В. Давыдейко и др. (Гомельское ГСКТБ ГА). – № 3428087// 18–24 ; заявл. 22.04.82 ; опубл. 07.12.83 // Открытия. Изобрет. – 1983, № 12. – С. 140.

52. Блок модулей гидро- и пневмосистемы: а. с. 1087710 СССР, МКИ³ F 15 C 5/00. / В.В. Пинчук, М.К. Гераймович, Г.Я. Салов и др. (Гомельское ГСКТБ ГА). – № 3477692//18–24 ; заявл. 03.08.82 ; опубл. 23.04.82 // Открытия. Изобрет. – 1984, № 4. – С. 62.

53. Гидравлическое распределительное устройство: а. с. 1521947 СССР, МКИ³ F 15 C 5/00 / В.В. Пинчук, Н.В. Кислов, В.И. Дорощенко и др. (Гомельское ГСКТБ ГА). – № 181880// 24–24 ; заявл. 12.01.87 ; опубл. 15.11.87 // Открытия. Изобрет. – 1989, № 11. – С.134.

54. Регулятор давления: а. с. №1615686 СССР, МКИ³ G05D 16/40 / Е.М. Абелев, В.В. Пинчук, С.И. Певзнер (Гомельское ГСКТБ ГА). – № 4632370// 24–24 ; заявл. 05.01.89 ; опубл. 23.12.90 // Открытия. Изобрет. – 1990, № 12. – С. 112.

55. Устройство для монтажа гидро- и пневмоаппаратуры: патент РБ № 7134 / В.В. Пинчук, А.А. Гинзбург, В.К. Шелег (ГГТУ им. П. О. Сухого) ; заявл. 26.05.2010 ; опубл. 30.04.2011 // Вынаходствы, карысныя мадэлі, прамысловыя узоры. Афіцыйны бюл. № 2. – С. 191.

РЭЗЬЮМЭ

Пінчук Уладзімір Уладзіміравіч

**РАСЧОТ І КАНСТРУЯВАННЕ АГРЭГАТНА-МОДУЛЬНЫХ
ГІДРАБЛОКАЎ КІРАВАННЯ ГІДРАПРЫВАДАЎ
ТЭХНАЛАГІчнаГА АБСТАЛЯВАННЯ**

Ключавыя словы: гідраблкі кіравання, прынцыповыя гідрасхемы, гідраапараты, шматкрытэрыяльная аптымізацыя, элементарныя схемы, уніфіцыраваныя функцыянальныя блокі.

Мэта даследвання – разробтка прынцыпаў праектавання гідраблкі кіравання, якія дазваляюць скараціць тэрміны і знізіць затраты на іх стварэнне і вырабленне.

Праведзена даследванне аптымальнасці структурных вырашэнняў гідраблкі кіравання прывадаў тэхналагічнага абсталявання, тэндэнцый развіцця гідраапаратуры, вынікі якога з'яўляюцца асновай для стварэння агрэгатна-модульнай сістэмы пабудовы гідраблкі кіравання.

Разробтаны метадалогія сінтэзу і прынцыпы праектавання гідраблкі кіравання, якія засноўваюцца на іерархічнай паслядоўнасці этапаў праектавання стандартызіраванай элементнай базы і гідраблкі кіравання ў цэлым.

Створаны эксперыментальныя ўзоры уніфіцыраваных функцыянальных блкі. Абгрунтаваны іх габарытныя і прысаедзіняльныя памеры, устаноўлены залежнасці страты ціску ад расхода рабочай вадкасці. Разробтана методика фармалізаванага сінтэзу гідраблкі кіравання, здавальняючых зададзеным тэхнічным патрабаванням.

Атрыманыя ў рабоце тэарэтычныя і эксперыментальныя даныя пакладзены ў аснову прынцыпіяльна новых уніфіцыраваных функцыянальных блкі, якія не маюць айчынных аналагаў, а таксама гідраблкі кіравання прывадаў розных гідрафіцыраваных машын, якія знайшлі прымяненне ў народнай гаспадарцы.

РЕЗЮМЕ

Пинчук Владимир Владимирович

**РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ АГРЕГАТНО-МОДУЛЬНЫХ
ГИДРОБЛОКОВ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОПРИВОДОВ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Ключевые слова: гидроблоки управления, принципиальные гидросхемы, гидроаппараты, многокритериальная оптимизация, элементарные схемы, унифицированные функциональные блоки.

Цель исследования – разработка методов расчета и конструирования гидроблоков управления, позволяющих обеспечить сокращение сроков и снижение затрат на их создание и производство.

Проведено исследование оптимальности структурных решений гидроблоков управления приводов технологического оборудования, тенденций развития гидроаппаратуры, результаты которого являются основой для создания агрегатно-модульной системы построения гидроблоков управления.

Разработаны методология синтеза и принципы проектирования гидроблоков управления, основывающиеся на иерархической последовательности этапов проектирования стандартизированной элементной базы и гидроблоков управления в целом.

Созданы экспериментальные образцы унифицированных функциональных блоков. Обоснованы их габаритные и присоединительные размеры, установлены зависимости потери давления от расхода рабочей жидкости. Разработана методика формализованного синтеза гидроблоков управления, удовлетворяющих заданным техническим требованиям.

Полученные в работе теоретические и экспериментальные данные положены в основу разработки принципиально новых, не имеющих отечественных аналогов унифицированных функциональных блоков, а также гидроблоков управления приводов различных гидрофицированных машин, которые нашли применение в народном хозяйстве.

SUMMARY**Pinchuk Vladimir Vladimirovich****DESIGN AND CALCULATION OF MODULAR HYDRAULIC CONTROL UNITS IN FLUID DRIVES OF PROCESSING EQUIPMENT**

Key words: operating hydroblocks, basic hydrocircuits, hydrodevices, multiobjective optimization, elementary circuits, unified functional blocks.

The aim of the research – to develop the principles of designing operating hydroblocks, which allow ensuring the diminution of terms and decrease of expenses for their designing and manufacturing.

There has been carried out the research of floor and circuit solutions of hydraulic drives of the equipment, tendencies of hydroequipment developing, which is a basis for creating an aggregate-modular system for constructing operating hydroblocks.

There has been developed a unified methodology of synthesis and principles of designing the operating hydroblocks based upon hierarchical sequence of design stages of standardized element base and operating hydroblocks in general.

Experimental samples of the unified functional blocks have been created. Their dimensional and connecting sizes have been proved; dependences of loss of pressure on the charge of working liquid have been established. There has been developed a technique of formalized synthesis of operating hydroblocks satisfying preset technical requirements.

Theoretical and experimental data, received in the making, are underlying the development of essentially new, not having domestic analogs, unified functional blocks, and operating hydroblocks of drives for various hydrofied machines which have found their application in national economy.

Научное издание

ПИНЧУК

Владимир Владимирович

**РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ АГРЕГАТНО-МОДУЛЬНЫХ
ГИДРОБЛОКОВ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОПРИВОДОВ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

доктора технических наук

по специальности 05.02.02 – Машиноведение, системы приводов
и детали машин

Подписано в печать 21.03.2016. Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Ризография

Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд.л. 1,82. Тираж 70. Заказ 225

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск