

На правах рукописи

ОРЕХОВ ДМИТРИЙ ВЯЧЕСЛАВОВИЧ

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ
ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
МЕТОДА МОРФОЛОГИЧЕСКОГО СИНТЕЗА**

Специальность: 2.3.7 – Компьютерное моделирование и автоматизация
проектирования

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Брянск 2024

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет».

Научный руководитель **Аверченков Андрей Владимирович,**
доктор технических наук, доцент

Официальные оппоненты **Бурдо Георгий Борисович,**
доктор технических наук, профессор, ФГБОУ
ВО «Тверской государственный технический
университет», заведующий кафедрой «Техно-
логия и автоматизация машиностроения»

Четвериков Борис Сергеевич,
кандидат технических наук, ФГБОУ ВО
«Белгородский государственный технологи-
ческий университет им. В.Г. Шухова»,
доцент кафедры «Подъемно-транспортные и
дорожные машины»

Ведущая организация ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный
университет», г. Оренбург

Защита состоится «30» октября 2024 года в 15:30 часов на заседании дис-
сертационного совета 24.2.277.02, созданного на базе ФГБОУ ВО «Брянский
государственный технический университет» по адресу г. Брянск, ул. Харьков-
ская, д. 10-Б, ауд. Б101.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО
«Брянский государственный технический университет» и на сайте универси-
тета по адресу: [https://www.tu-bryansk.ru/mainpage/dissertatsii/orekhov-dmitriy-
vyacheslavovich-1](https://www.tu-bryansk.ru/mainpage/dissertatsii/orekhov-dmitriy-vyacheslavovich-1)

Отзывы на автореферат присылать по адресу: 241035, г. Брянск, бульвар
50 лет Октября, д. 7, ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический
университет», ученому секретарю диссертационного совета 24.2.277.02.

Автореферат разослан «__» _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.2.277.02
кандидат технических наук, доцент



А.Г. Подвесовский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. В настоящее время на большинстве промышленных предприятий существует проблема, связанная с обслуживанием объемного гидропривода, необходима замена имеющегося импортного оборудования на аналогичное отечественное.

Анализируя спрос, можно с уверенностью сказать, что большая часть предприятий в сфере машиностроения, нефтегазовой промышленности, сталелитейного производства, горношахтного оборудования и других в РФ нуждается в импортозамещении и замене агрегатов объемного гидропривода в короткие сроки.

Производители зачастую стандартизируют собственную линейку гидравлических станций, которая заранее определяет основные параметры оборудования, но данный подход возможен для отдельных областей применения, таких как строительная техника, ремонтные работы, мостостроение. В большинстве других случаев применение стандартного оборудования неэкономично или невозможно. В подавляющем большинстве случаев импортозамещение гидропривода требует индивидуального подхода и уникального решения.

Объемный гидропривод состоит из исполнительной, направляюще-регулирующей и энергообеспечивающей подсистем. Направляюще-регулирующую и энергообеспечивающую подсистемы объемного гидропривода принято объединять одним понятием - гидравлическая станция. Более 80% выпускающихся гидравлических станций, имеют следующие значения основных параметров: номинальное давление (1 - 70 МПа); номинальный расход (1-200 л/мин); номинальная температура эксплуатации (-40 град. - +110 град.). Их принято называть «специализированные гидравлические станции» (СГС). В отличие от исполнительной подсистемы объемного гидропривода, проектирование СГС не автоматизировано, система их автоматизированного проектирования (САПР) не разработана.

В производстве проектирование СГС является сложным и ответственным этапом, занимающим большое количество времени. Сложность заключается в обширной номенклатуре конструкторских элементов, из которых состоит гидравлическая станция. Самая распространенная простейшая модель включает в себя не менее десяти наименований элементов, которые необходимо подобрать исходя из множества факторов, влияющих на эксплуатационные свойства. Если выделить только основные критерии подбора конструктивных элементов, такие как: технологичность, надежность, стоимость, габаритные размеры и производительность, то комбинационное множество включает более чем 200 различных комбинаций, подбор каждой из которых занимает большое количество времени.

Проектирование СГС происходит по методикам, которые используют слабо интегрированные программные средства. Классические методы проектирования занимают много времени как на подготовку эскизного проекта, так и на подготовку технической документации для изготовления СГС. Каждый эскизный проект отнимает более 10 часов рабочего времени. Весь процесс

проектирования с момента получения технического задания до подготовки технической документации занимает несколько дней, что недопустимо много в условиях многономенклатурного производства СГС. В связи с этим, актуальна разработка алгоритмов, методик и программного обеспечения для автоматизации проектирования СГС.

Объектом исследования является процесс автоматизации проектирования специализированных гидравлических станций на промышленном предприятии.

Предметом исследования являются методы и средства, используемые при проверке теоретической работоспособности принципиальных гидравлических схем, а также методы и алгоритмы автоматизированного проектирования.

Целью работы является повышение производительности и качества проектирования СГС, а также сокращение трудоемкости при разработке СГС.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать методику автоматизированного проектирования СГС, с учетом современных подходов к решению задач проектирования.

2. Разработать алгоритм проверки теоретической работоспособности принципиальных гидравлических схем, созданных на первом этапе проектирования.

3. Разработать методику представления конечного множества альтернатив элементов, которые входят в состав СГС, на основании которых будет подбираться рациональная конструкция СГС.

4. Разработать методическое, математическое, программное, информационное, лингвистическое, техническое и организационное обеспечение САПР СГС.

5. Провести интеграцию разработанной САПР СГС с отечественной системой трехмерного моделирования.

6. Апробировать САПР СГС в реальных производственных условиях.

Методы исследования. В диссертации использовались методы системного и структурного анализа; морфологического анализа и синтеза; теории графов; имитационного моделирования; экспертных оценок и принятия решений. При разработке программных модулей использовались методы объектно-ориентированного и структурного программирования.

Научная новизна. В рамках диссертационной работы получены следующие результаты, обладающие научной новизной:

1. Разработана имитационная компьютерная модель, реализующая алгоритм проверки теоретической работоспособности принципиальных гидравлических схем и оценки их характеристик. (п. 8 паспорта специальности 2.3.7).

2. Разработана адаптированная для нового класса технических объектов методика автоматизированного проектирования энергообеспечивающей и направляюще-регулирующей подсистем объемного гидропривода, с использованием морфологического анализа и синтеза. (п.1 паспорта специальности 2.3.7).

3. Предложена методика повышения эффективности процесса взаимодействия проектировщик - система, которая включает в себя параметрические компьютерные модели СГС.(п. 4 паспорта специальности 2.3.7).

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Обобщены и интегрированы в САПР СГС общие методики расчета исполнительной, направляюще-регулирующей и энергообеспечивающей подсистем объемного гидропривода.

2. Предложена математическая модель описания СГСс использованием подходов морфологического анализа и синтеза и метода анализа иерархий, представленная И/ИЛИ деревом, компьютерная реализация которой позволяет сократить долю рутинных работ за счет автоматизации.

3. Разработанные методики совместно с алгоритмами и видами обеспечения системы автоматизированного проектирования, реализованы в виде САПР СГС, которая интегрируется в САД-систему Компас 3D.

4. Разработанный алгоритм проверки теоретической работоспособности принципиальных гидравлических схем, позволяет решать ряд рутинных задач в автоматизированном режиме, что сокращает их время решения на 70% и способствует повышению производительности проектирования СГС.

5. В результате использования на промышленном предприятии САПР СГС удалось добиться следующих результатов (результаты представлены по одному предприятию за 4х летний период): количество выпускаемых изделий возросло на 273,6%; количество контрагентов увеличилось на 183%; доходы от реализации увеличились на 115%.

Достоверность полученных результатов подтверждается апробацией предложенных методик и алгоритмов, которые показали свою эффективность в рамках реализации внедрения системы на промышленных предприятиях. Количество проектных решений возросло в 2,5 раза, улучшилось качество выпускаемой конструкторской документации с использованием САПР СГС.

Положения выносимые на защиту:

1. Методика автоматизированного проектирования СГС и алгоритм подбора рациональной конструкции СГС.

2. Методика формирования конечного множества альтернатив для определения рациональной конструкции СГС.

3. Алгоритм проверки теоретической работоспособности принципиальной гидравлической схемы, основывающейся на разработке имитационной компьютерной модели.

4. Результаты апробации разработанной САПР СГС.

Апробация работы. Основные научные и практические результаты работы докладывались на региональной научно-практической конференции «Инновации 2016» (Брянск, 2016); международной научно-практической конференции (Брянск, 2016); 1-й конференции международной школы молодых ученых и специалистов (Москва, Металлообработка-2016); Всероссийская конференция «Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении» (Брянск 2024).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 печатных работ. Две публикации, индексированные Scopus и пять статей в изданиях, входящих в перечень ВАК.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Общий объем работы 134 страницы машинного текста, 33 рисунков, 17 таблиц, 7 приложений и список литературы из 101 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы цели и задачи исследования, объект и предмет исследования, методы и средства исследования, научная новизна и практическая значимость работы, а также значимость полученных результатов работы, перечислены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приводится общая характеристика насосных гидравлических станций и описания узловых структур. Рассмотрена автоматизация проектирования СГС с помощью метода морфологического анализа и синтеза в условиях применения интегрированных САПР. Рассматривается возможность автоматизации проектирования технических объектов с использованием метода морфологического синтеза.

Проведен анализ исследований в автоматизации проектирования и выбора оптимальных параметров технических объектов с использованием морфологического анализа и синтеза. Выбором оптимальных параметров и изучением численных методов занимается международная компания COSEAL (Configuration and selection of algorithms), в нее входят такие специалисты как M. Lindauer, A. Tornede. Из российских авторов можно отметить А.В. Аверченкова, В. А. Камаева, Ю.А. Скобцова, А.И. Дивеева. Было выявлено что в работах основоположника морфологического анализа и синтеза Ф. Цвикки, которые развивались рядом других исследователей, в частности В.М. Одриным и С.С. Картавовым и другими, основное внимание уделяется самой методологии морфологического синтеза, а вопрос моделирования морфологического множества исследован недостаточно.

Сформулировано содержательное определение понятий проверки теоретической работоспособности принципиальных гидравлических схем и СГС, учитывающих всю входную информацию согласно ТЗ. Приведено ограничение области применения СГС в условиях диссертационного исследования и установлены границы параметров.

Приведен сравнительный анализ отечественных и зарубежных САД-систем, на основе которого было установлено, что система Компас 3D является подходящей основой для создания САПР СГС.

Во второй главе приведена формализация структурных произвольных схем гидравлических станций и принято решение, что в работе рассматриваются принципиальные гидравлические схемы, которые полностью определяют состав элементов и дают определение о принципах работы изделия.

Принципиальные гидравлические схемы строятся по DIN ISO 1219, каждому элементу соответствует уникальный символ, и все они имеют определенные свойства, которые используются в алгоритме проверки теоретической работоспособности.

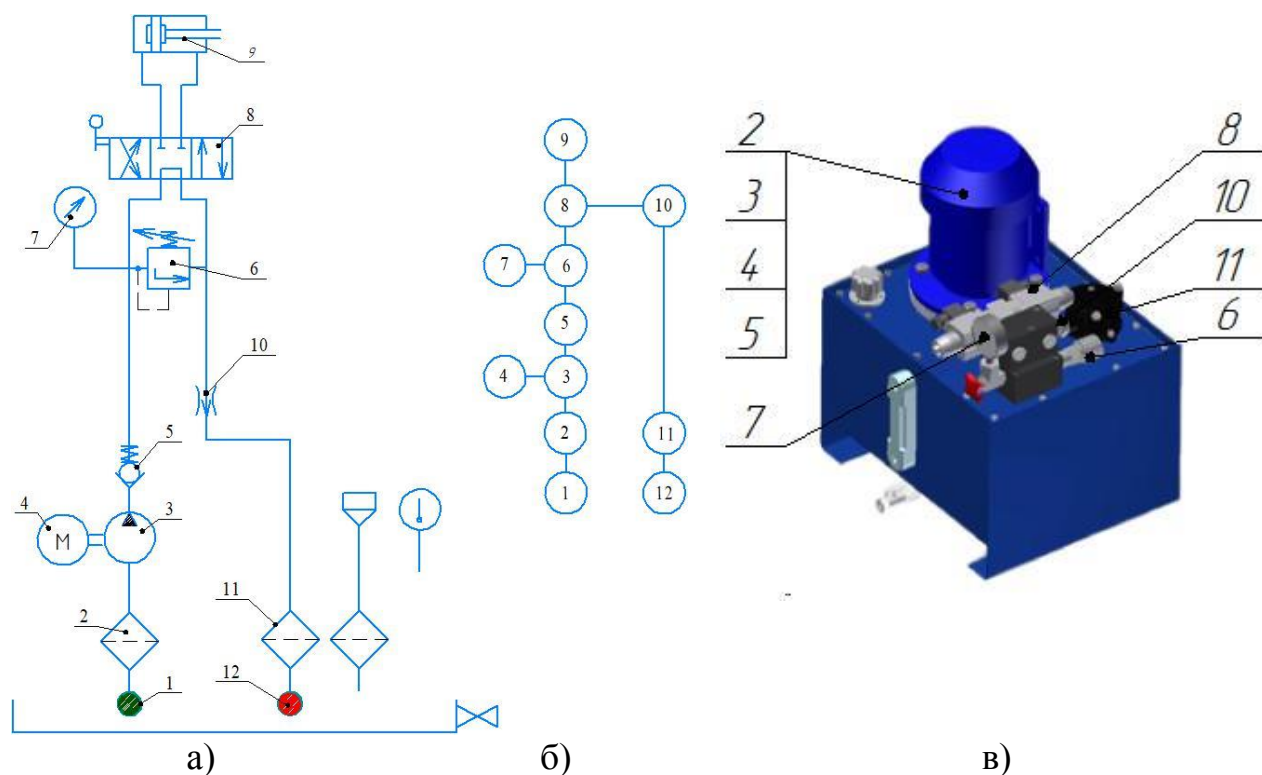


Рис.1. Принципиальная гидравлическая схема (а); преобразованная принципиальная гидравлическая схема (б); 3D-модель СГС (в)

Предложенная принципиальная гидравлическая схема не содержит информации о математическом представлении ее элементов, поэтому было предложено представлять ее в виде цепи, состоящей из объединенных между собой через внешние узлы типовых компонент. На рисунке 1а представлена принципиальная гидравлическая схема, для формирования матрицы отношений между элементами, целесообразно ее структуру описать посредством идентификации элементов и нумерации узлов рисунок 1б, на рисунке 1в представлена 3D-модель специализированной гидравлической станции.

Для реализации алгоритма проверки теоретической работоспособности принципиальной гидравлической схемы, необходимо ее преобразовать и представить в виде математической модели, которая описывается матрицей отношения. Преобразованная принципиальная гидравлическая схема представляет собой множество элементов, данное множество является конечным и поэтому любое бинарное отношение задается упорядоченным списком пар, содержащихся в бинарном отношении. В результате получается квадратная матрица отношения, которая будет состоять из нулей и единиц.

По матрице отношения однозначно определяется взаимосвязь элементов друг с другом, расположение элемента в гидравлической схеме и точка перехода между напорной и сливной линией. Задавая необходимые свойства каждого элемента, и зная его расположение в гидравлической схеме, реализуется проверка теоретической работоспособности принципиальной гидравлической схемы.

Алгоритм проверки теоретической работоспособности (Рисунок 2) представляет собой модуль, входными параметрами которого является разработанная конструктором принципиальная гидравлическая схема и атрибуты гидравлических элементов, которые находятся в базе.

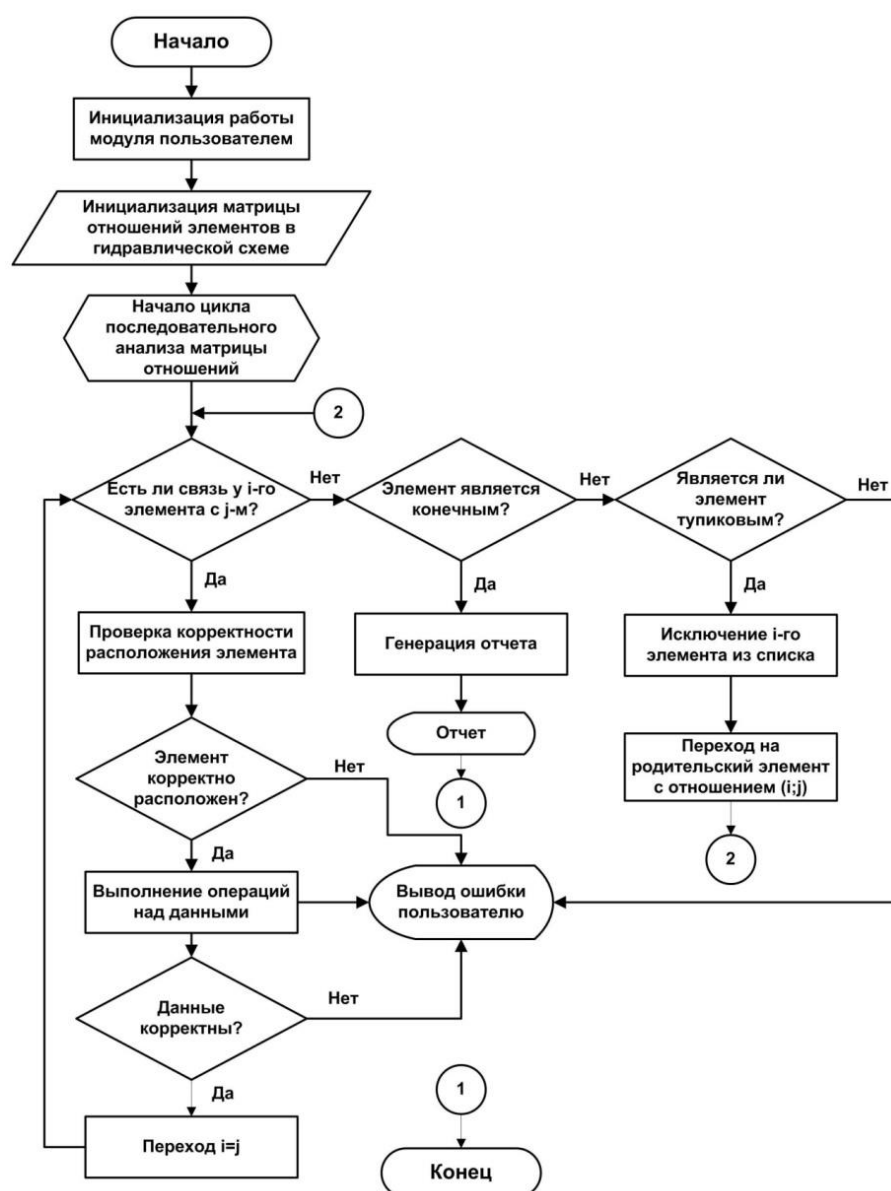


Рис.2. Алгоритм проверки теоретической работоспособности принципиальной гидравлической схемы

В начале работы алгоритма инициализируется матрица отношений между элементами, которая строится на основании разработанной гидравлической схемы пользователем. После инициализации матрицы происходит цикл последовательного анализа, то есть ищутся связи между i -м и j -м элементами, а если такой связи нет, то происходит проверка на конечный элемент. Результат такой проверки может быть отрицательным, поэтому необходимо проверить, не является ли элемент тупиковым, такими элементами могут быть манометр, реле давления, приводящий двигатель и др. Если элемент является тупиковым, то происходит дальнейшая проверка.

При наличии связи между элементами проверяется корректность расположения элемента относительно разработанной гидравлической схемы. После всех действий i -му элементу присваивается j -й номер, и цикл повторяется до тех пор, пока не будет найден конечный элемент.

Для подбора рациональной конструкции СГС необходимо выделить группу основных конструктивных элементов, входящих в ее структуру. Для каждого из конструктивных элементов необходимо задать несколько альтернативных вариантов, из которых в последующем будет выбираться оптимальный, исходя из заданных условий.

Руководствуясь методами морфологического анализа и синтеза, в диссертационном исследовании представлено описание множество конструктивных элементов, входящих в состав СГС и представлено в виде И-ИЛИ-дерева (рисунок 3). Создаваемое морфологическое множество рассматриваемых конструктивных элементов включает в себя множество структурных решений и конструктивные исполнения уникальных гидравлических станций.

Сформировав данное морфологическое множество конструктивных элементов, в виде И-ИЛИ-дерева используется следующая последовательность действий:

- Выделение основных элементов конструкции гидростанции.
- Определение типов этих элементов конструкции.
- Составление системы типов элементов.

Необходимо определить количество альтернатив исходного морфологического И-ИЛИ-дерева. Пусть K – подмножество узлов, непосредственно детализируемых терминальными узлами.

$$K = \{K_1, K_2, \dots, K_p\}, \quad (1)$$

где p - число таких узлов. В соответствии со структурой специализированной гидравлической станцией (рисунок 3) $p = 17$.

Опишем подмножество узлов S_L , дочерних для узла K_L :

$$S_L = \{S_1^L, S_2^L, \dots, S_{n_L}^L\}, \quad (2)$$

где n_L – количество всех элементов множества S_L .

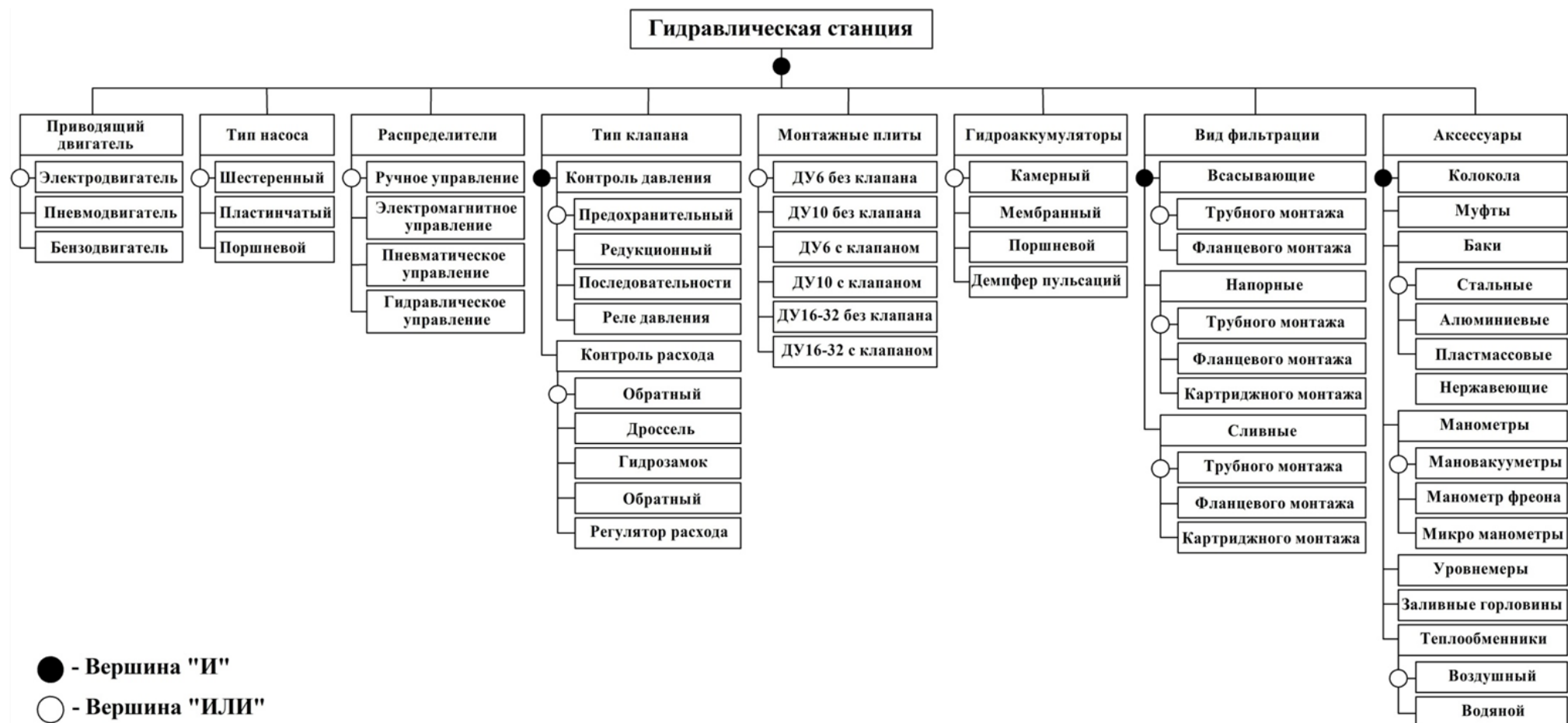


Рис. 3. Набор альтернатив конструкции специализированной гидравлической станции, представленный в виде И-ИЛИ-дерева.

Сопоставим название элементов СГС с введенными обозначениями. В результате получим:

$K = \{\text{тип приводящего двигателя, вид насоса, гидрораспределители, заливные горловины, уровнемеры, колокола, муфты} \}.$

$S_1 = \{\text{электродвигатель, бензодвигатель, пневмодвигатель} \}.$

$S_2 = \{\text{шестеренный, пластинчатый, поршневой} \}.$

... ..

$S_{11} = \{\text{стальные, алюминиевые, пластмассовые, нержавеющей} \}.$

$S_{12} = \{\text{мановакуумы, манометр фреона, микро манометр} \}.$

$S_{13} = \{\text{водяной теплообменник, воздушный теплообменник} \}.$

В диссертационном исследовании типы узлов $S_{14}, S_{15}, S_{16}, S_{17}$ будут иметь только одно конструктивное исполнение. Это объясняется особенностями устройств и типом конструкции данных компонентов.

Для решения задачи подбора рациональной конструкции СГС необходимо сгенерировать минимальное число альтернатив И-ИЛИ-дерева. Первоначальным условием генерации числа альтернатив будет являться разработанная конструктором принципиальная гидравлическая схема, которая удовлетворяет всем условиям ТЗ. На следующем этапе необходимо отобрать все альтернативы, которые будут соответствовать основным параметрам, а именно: номинальному давлению, номинальному расходу и рабочей температуре. В результате данных процедур множество конструктивных элементов будут иметь несколько альтернативных конструкций.

Для выбора рациональной конструкции компонента СГС будем использовать метод экспертных оценок и парных сравнений, основными критериями для которых будут: технологичность; надежность; срок поставки; стоимость и габаритные размеры. На рисунке 5 представлены гидрораспределители различных производителей с обозначением суммы “весов” параметров, согласно для каждого из них.

Подобрав все рациональные элементы СГС, не всегда можно получить ожидаемый результат по рациональной конструкции, не все элементы могут быть сопрягаемыми или доступными. На начальном этапе проектирования конструктору необходимо задать хотя бы один критерий оценки, по которому будет проходить отбор рациональных альтернатив. САПР СГС могут пользоваться не только специалисты данной области, но и менеджмент предприятия, поэтому необходимо ввести коэффициент значимости каждого критерия “ λ ”, который позволит подбирать рациональную конструкцию без наложения условий проектировщика

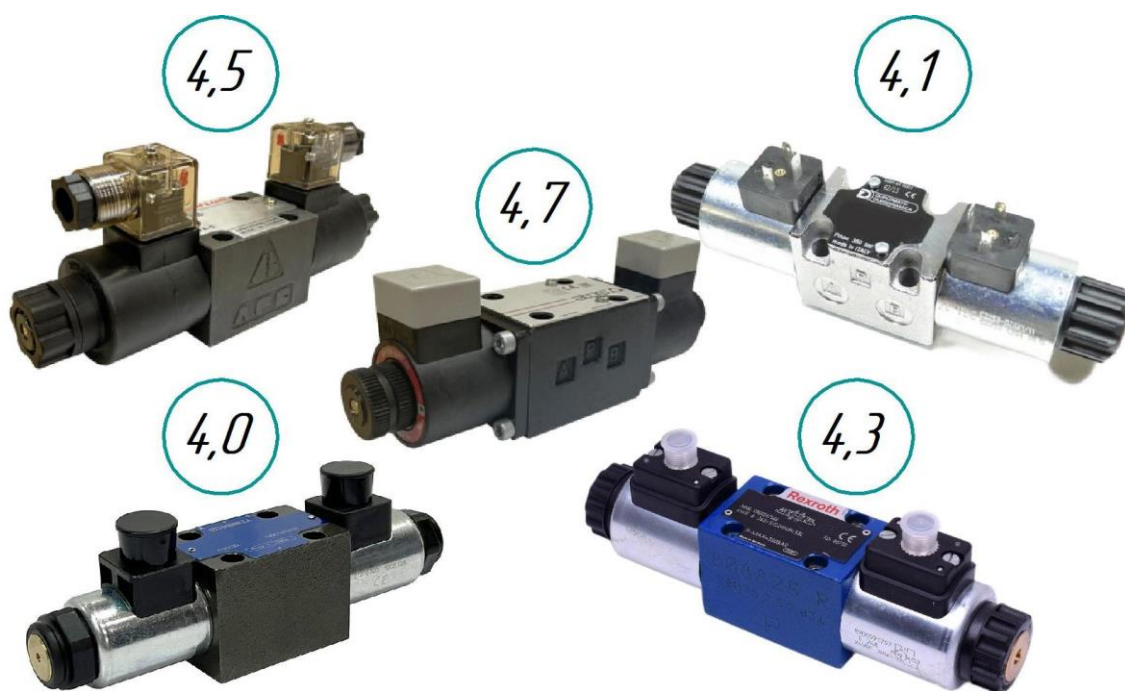


Рис. 4. Предпочтительность гидрораспределителей

Для выбора рациональной альтернативы конструктивного элемента использовался метод анализа иерархий. Каждый элемент из множества альтернатив имеет несколько аналогов, которые отличаются в зависимости от определенных условий сравнения (рисунок 5). Результаты работы экспертов представляются в виде матрицы парных сравнений по определенному критерию.

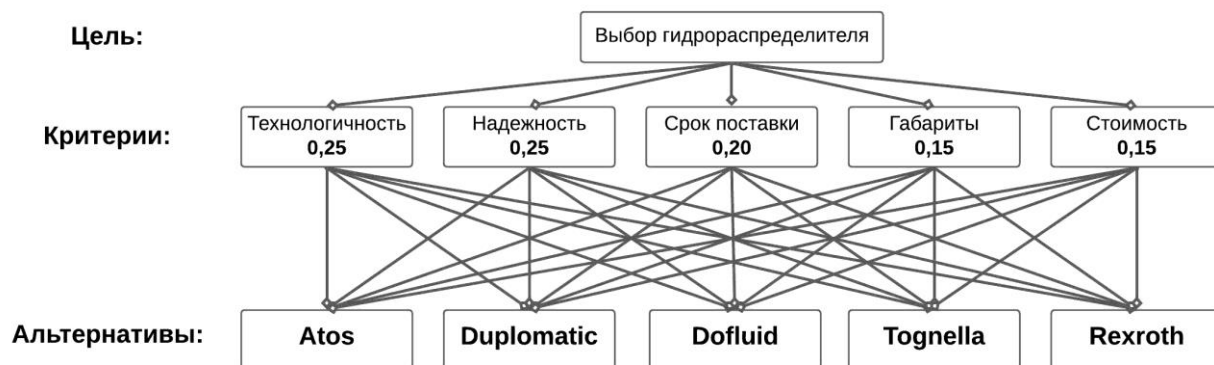


Рис. 5. Множество конструктивных элементов

В получившихся матрицах парных сравнений относительно определенного критерия представляются результаты экспертных оценок. Критерии, которые введены при оценке альтернатив, рассматриваются как функции цели. При подборе конструктивного элемента, необходимо выбрать альтернативу с учетом функции цели, для этого необходимо выбрать вариант, имеющий максимальное значение суммы.

Третья глава посвящена разработке технического, математического, программного, информационного и лингвистического обеспечения САПР СГС.

В рамках поставленных целей разработана структурно-функциональная схема работы САПР СГС (рисунок 6).

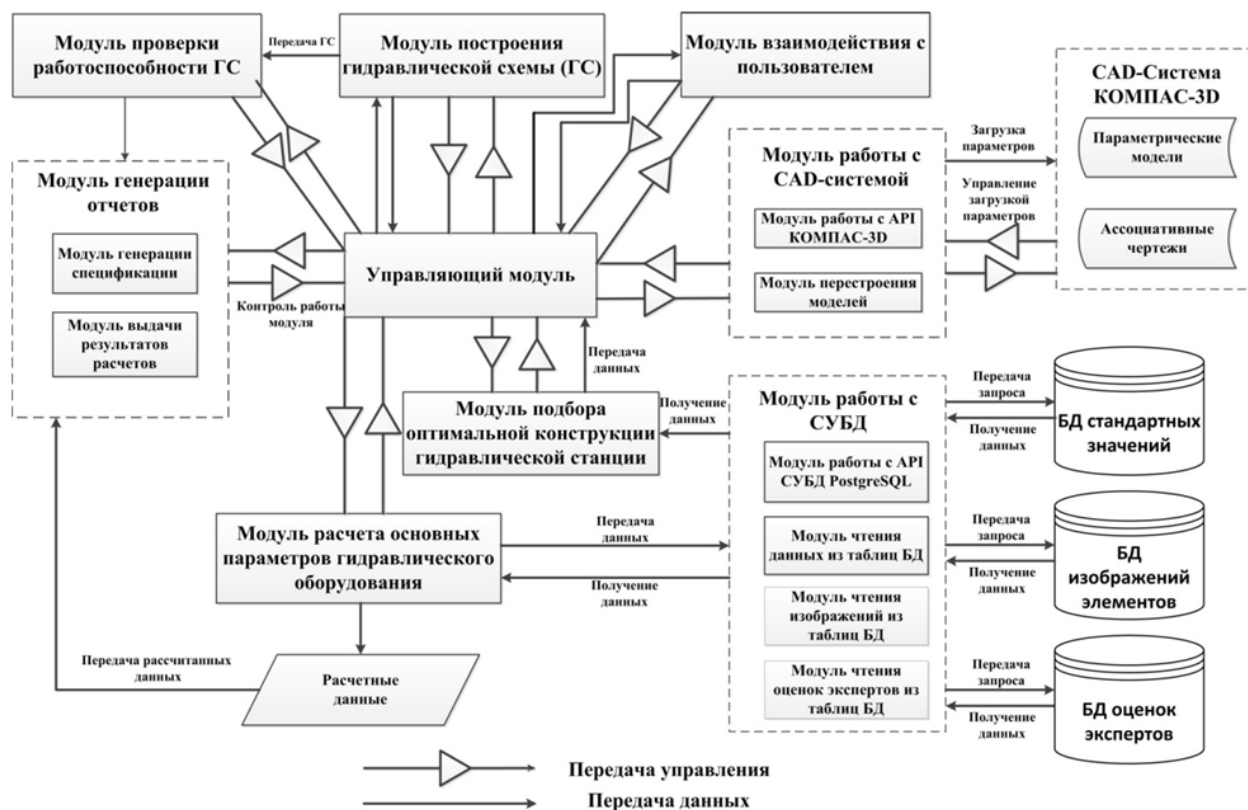


Рис. 6. Структурно-функциональная схема САПР СГС

Все эти модули разрабатываются независимо друг от друга. Базы данных содержат необходимые данные, параметры основных узлов СГС, правила построения параметрических моделей, сведения о вспомогательных элементах, правила формирования сборочных моделей, созданные библиотеки элементов, различные константы и др. Для описания модели представления знаний об СГС, использовались параметрические модели элементов, представляющие собой перечень конструктивных параметров и отношений между ними. Элементы СГС хранятся в БД в виде параметрических моделей с определенным набором параметров.

В рамках математического обеспечения САПР СГС проведена алгоритмизация процедур: ввода исходных данных, проверки теоретической работоспособности принципиальной гидравлической схемы (рисунок 2), расчёта основных параметров объемного гидропривода, процедуры построения упрощенной трехмерной параметрической модели СГС, а также предложена методика подбора рациональной компоновки СГС (рисунок 7).

Подобрав все необходимые технические узлы СГС, необходимо их скомпоновать в составе параметрической трехмерной сборочной модели. Для

корректного перестроения разработана методика подбора рациональной компоновки, которая учитывает все необходимые условия. В рамках исследования выяснилось, что наиболее рациональной компоновкой СГС является компоновка «приводящий двигатель на крышке бака».

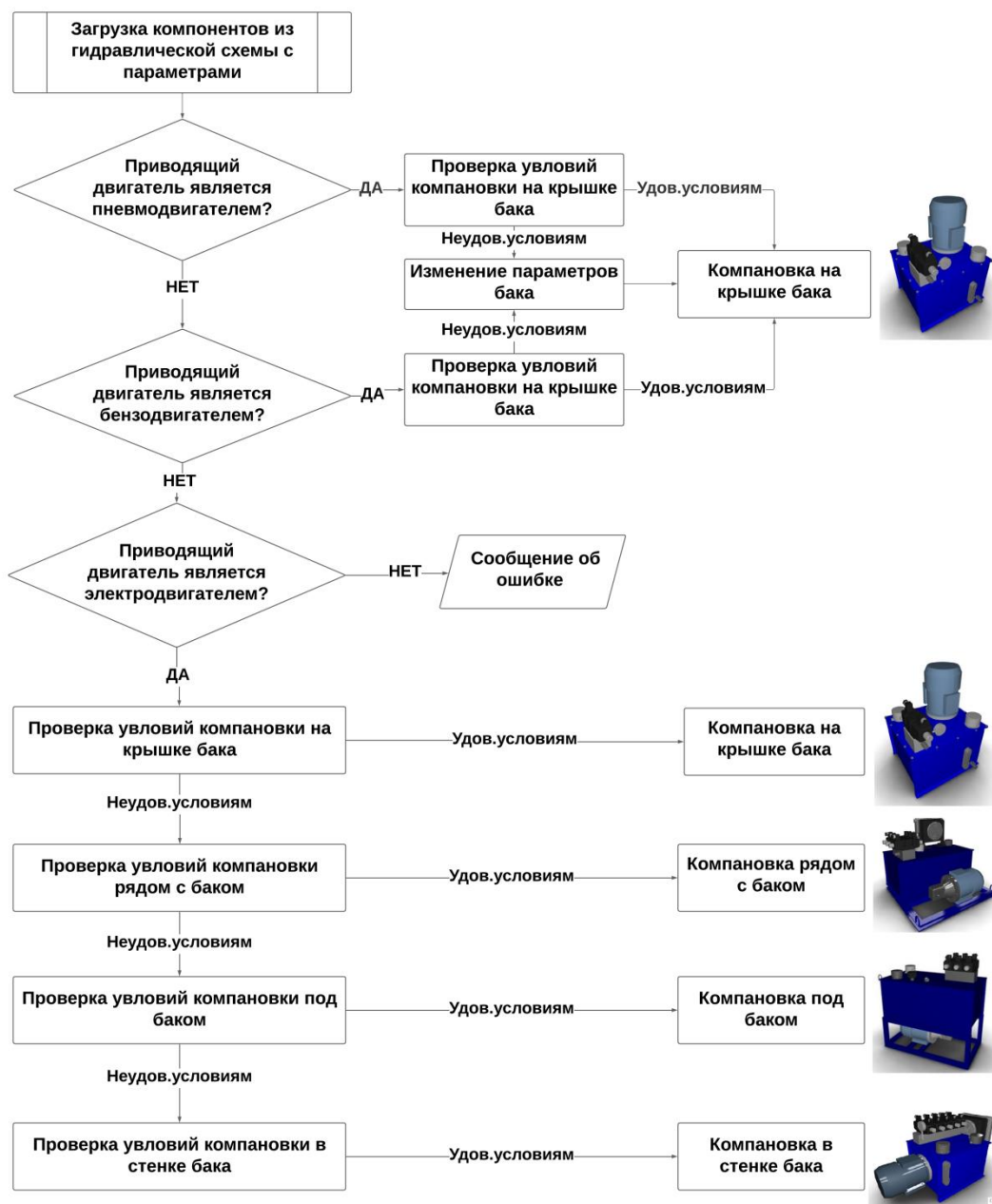


Рис. 7. Методика подбора рациональной компоновки СГС

В качестве лингвистического обеспечения выбран язык программирования Java. Предложена структура базы данных в СУБД PostgreSQL, которая условно представляется группой таблиц, предназначенных для описания параметров элементов СГС.

Предложен алгоритм автоматизированного проектирования СГС (рисунок 8), исходными данными для которого будет являться ТЗ проработанное с заказчиком проекта. Подбор конструкции осуществляется на основе И/ИЛИ –

дерева по параметрам и условиям эксплуатации, которые указываются в техническом задании.

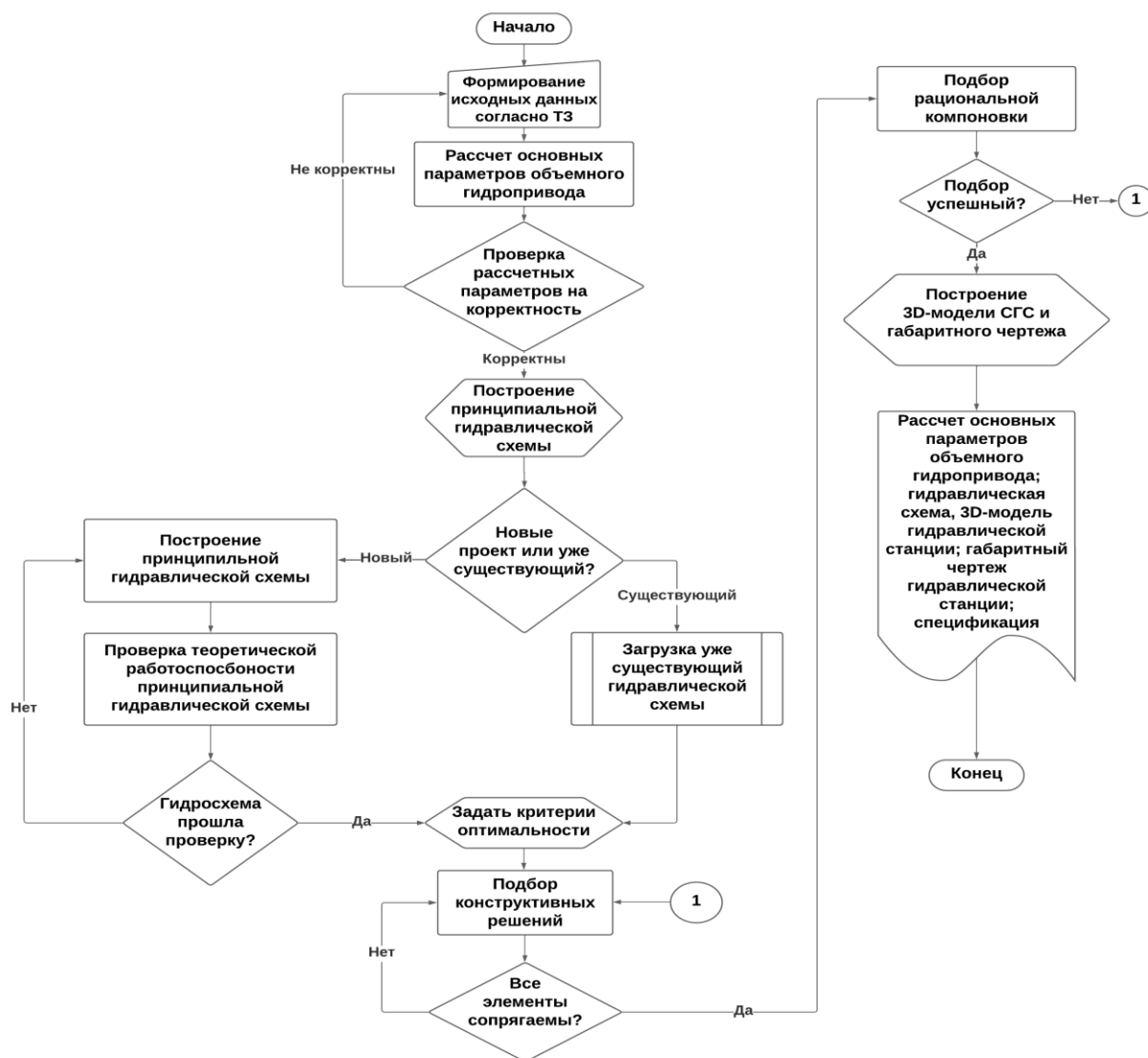


Рис. 8. Алгоритм автоматизации проектирования СГС

Результатом работы по созданию САПР СГС стала система, обеспечивающая построение принципиальной гидравлической схемы, проверку теоретической работоспособности разработанной принципиальной гидравлической схемы и формирование твердотельной модели СГС в CAD-системе Компас 3D, конструкция которой учитывает определенные условия и разработанную схему.

В четвертой главе описано применение разработанной САПР СГС - «HydraulicsCAD» (рисунок 9), а также сформированы минимальные требования к программному и техническому обеспечению.

Разработаны технические условия для присвоения маркировок и проведения приемосдаточных испытаний СГС (ТУ 4145-001-86030163-2008). Данные технические условия распространяются на маркировки СГС с электро-, бензо-, пневмоприводом, предназначенные для обеспечения гидравлической

энергией одного или нескольких исполнительных гидроустройств - промышленного гидравлического инструмента высокого и низкого давления – гидроцилиндры, домкраты, гайковерты и др., применяемых при проведении сборочных, монтажно-демонтажных и ремонтных работ в промышленности, строительстве, на транспорте и т.п.

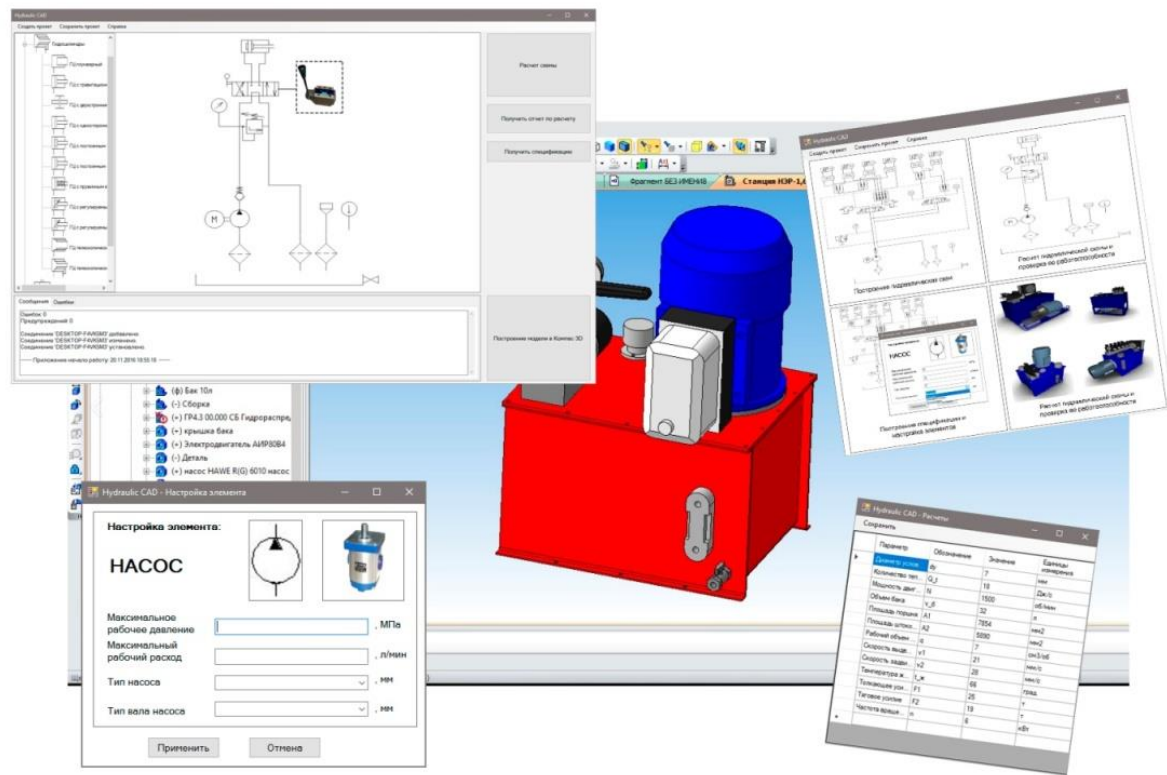


Рис. 9. Рабочие окна САПР СГС HydraulicsCAD

В результате применения САПР СГС на промышленных предприятиях удалось добиться сокращения времени проектирования СГС до 3 часов, что позволило сократить трудоемкость в 3 раза, а также сократилось число ошибок на первоначальных этапах проектирования вследствие автоматизации рутинных задач. Повысилось качество выпускаемых СГС, за счет автоматизированного выбора рациональных компонентов, без участия пользователя, а также благодаря алгоритму проверки теоретической работоспособности принципиальных гидравлических схем.

Использование САПР СГС «HydraulicsCAD» позволило повысить эффективность процесса «заявка – предоставление коммерческого предложения», за счет заложенного функционала. Количество обрабатываемых заявок выросло в два раза, что привело к росту числа выпускаемых изделий и увеличению контрагентов (таблица 1, таблица 2).

Таблица 1

Количество выпускаемых изделий					
Год	2019	2020	2021	2022	2023
Количество, шт.	734	1 012	1 186	2 640	2 742
Изменения	-	37 %	17 %	122 %	3,8%

Изменения за 4 года составили 273.6 %

Таблица 2

Количество контрагентов					
Год	2019	2020	2021	2022	2023
Количество, шт.	12	23	24	32	34
Изменения	-	91 %	4 %	33 %	6%
Изменения за 4 года составили 183 %					

Данные показатели влияют на экономический эффект, который напрямую связан с применением САПР СГС «HydraulicsCAD». Для сравнения этого показателя примем условно первоначальный 2019 год за переменную N-1 млн. руб., тогда сравнения по годам будет выглядеть - таблица 3.

Таблица 3.

Доходы от реализации предприятия					
Год	2019	2020	2021	2022	2023
Млн. руб.	1	1,74	1,8	2,13	2,15
Изменения	-	74 %	3%	18 %	1%
Изменения за 4 года составили 115 %					

Результат от внедрения САПР СГС показывает эффективность ее применения на промышленных предприятиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлена совокупность новых, научно обоснованных программно-технических решений и разработок, направленных на автоматизацию проектирования специализированных гидравлических станций, которая имеет существенное значение для развития машиностроительной отрасли страны.

В соответствии с целью и задачами исследования получены следующие научные и практические результаты:

1. Разработанная САПР СГС позволила сократить процесс проектирования в 3 раза, уменьшить трудоемкость за счет автоматизации расчетов основных параметров СГС, что повлияло на количество проектных решений, их рост за 4 года составил 273,6%, а также с использованием алгоритма теоретической проверки работоспособности принципиальных гидравлических схем сократилось количество ошибок на первоначальных этапах проектирования.

2. Разработана методика автоматизированного проектирования, которая отличается использованием морфологического анализа и синтеза, а также применением метода экспертных оценок и парных сравнений. Данная методика лежит в основе создания САПР «HydraulicsCAD».

3. Предложена математическая модель описания СГС с использованием морфологического анализа и синтеза и метода анализа иерархий, которая

представляется И/ИЛИ деревом, а ее компьютерная реализация позволяет повысить эффективность автоматизации за счет сокращения доли рутинных работ.

4. Разработаны методическое, математическое, программное, информационное, лингвистическое, техническое и организационное обеспечение САПР СГС, которые включают в себя методики и алгоритмы, базы данных, а также параметрические модели элементов, входящих в состав СГС.

5. Предложенный алгоритм проверки теоретической работоспособности принципиальных гидравлических схем позволил сократить время на первоначальных этапах проектирования на 70%, а также уменьшить количество ошибок. Данный алгоритм основывается на представлении принципиальной гидравлической схемы в виде математической модели, в результате преобразования которой получается бинарная матрица отношений между элементами схемы.

6. Предложена методика выбора рациональной конструкции СГС на основе морфологического анализа и синтеза множества аналогов и прототипов, в результате получен базовый набор альтернатив конструкций СГС. Комбинаторное пространство альтернатив представлено в виде И-ИЛИ-дерева, которое систематизирует конструкторские решения в данной области и позволяет повысить эффективность проектирования и выбора рациональных компоновок гидравлических станций.

7. Разработана методика подбора рациональной компоновки СГС, которая учитывает необходимые технические условия, а также параметры входящих в состав СГС конструктивных элементов.

8. Разработанная САПР СГС может использоваться не только инженерами в области объемного гидропривода, но и менеджментом при обработке первоначальной заявки на проектирование.

9. Создана система автоматизированного проектирования уникальных гидравлических станций «HydraulicsCAD», интегрирована с системой трехмерного моделирования Компас 3D. Апробация работы на нескольких промышленных предприятиях позволила получить оценки работы системы, а также выявить новые свойства системы, существенно сократить рутинную работу проектировщика.

10. Результаты диссертации внедрены в производственный процесс промышленного предприятия ООО «Борокс-Гидравлика» (г.Брянск), что подтверждается соответствующим актом внедрения. Результаты работы используются менеджментом промышленных предприятий ООО «НПО» «Гидросфера» (г.Москва), ООО «Завод промышленного оборудования» (г. Санкт-Петербург), что подтверждается актами внедрения.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в издательствах, рекомендованных ВАК России:

1. Орехов Д.В. Анализ эффективности автоматизации проектирования гидравлических станций / Д.В. Орехов // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. – 2024. - №1(23). – С. 13-20.

2. Орехов Д.В. Опыт применения системы автоматизированного проектирования специализированных гидравлических станций на промышленном предприятии / Д.В. Орехов // Известия Тульского государственного университета. – 2024. - №5. – С. 114-121.

3. Орехов Д.В. Разработка специализированных модулей конструкторской подготовки для формирования заказа объемного гидропривода / А.В. Аверченков, А.Н. Козленков, Д.В. Орехов // Вестник БГТУ. – 2016. - №3(51). – С. 175-185.

4. Орехов Д.В. Разработка системы автоматизированного проектирования гидравлических домкратов / А.В. Аверченков, В.В. Колякин, Д.В. Орехов // Вестник БГТУ. – 2016. - №4(52). – С. 160-170.

5. Орехов Д.В. Выбор оптимальной конструкции гидравлической станции с помощью морфологических методов / А.В. Аверченков, Д.В. Орехов // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2016. - №11(118). – С.83-93.

Патенты, свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ:

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017615879. Система автоматизированного проектирования гидравлических схем «HydraulicsCAD» / Д.В. Орехов, А.В. Аверченков, М.В. Терехов. – 25.05.2017.

Публикации в иностранных изданиях, входящих в наукометрические базы данных Scopus и Web of Science:

7. Orekhov D.V. Issues of a computer-aided design of hydraulic jacks / V.I. Averchenkov, A.V. Averchenkov, V.V. Kolyakin, D.V. Orekhov // International Conference on Mechanical Engineering, Automation and Control Systems, Russian Federation. – 2015, Volume 124, Issue 1.

8. Orekhov D.V. Automation of engineering preparation of volumetric hydraulic actuator production in a small company / A.V. Averchenkov, E.A. Leonov, D.V. Orekhov // Procedia Engineering. – 2017. – P. 1015–1022

Публикации в других научных журналах и изданиях:

9. Орехов Д.В. Автоматизация проверки теоретической работоспособности принципиальных гидравлических схем / Д.В. Орехов // Всероссийская конференция «Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении – 2024». Сб. тез. докл. – Брянск: 2024 – С. 43-46.

10. Орехов Д.В. Разработка системы автоматизированного проектирования гидравлического оборудования / Д.В. Орехов // Региональная научно-практическая конференция «Инновации 2016». Сб. тез. докл. – Брянск: 2016 – С. 32-33.

11. Орехов Д.В. Разработка системы автоматизированного проектирования гидравлического оборудования на примере гидравлических домкратов одностороннего действия / Д.В. Орехов, М.В. Терехов, Л.Б. Филиппова // Международная школа молодых ученых и специалистов в области робототехники, производственных технологий и автоматизации. Сб. тез. докл.– Москва. – 2016. – С.22-25.

12. Орехов Д.В. Повышение эффективности производства и уровня знаний специалистов в сфере разработки объемного гидропривода за счет создания специализированных модулей / Д.В. Орехов // Международная научно-практической конференции. Сб. тез. докл.– Брянск. – 2016. – С. 157-160.

Орехов Дмитрий Вячеславович

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ
ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
МЕТОДА МОРФОЛОГИЧЕСКОГО СИНТЕЗА**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Подписано в печать 28.08.2024. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.

Офсетная печать. Печ. л. 1. Т. экз. Заказ № _____. Бесплатно.

Брянский государственный технический университет

241035, Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7

Лаборатория оперативной печати БГТУ, ул. Институтская, 16