

Брянский государственный технический университет

*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

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание учёной степени кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук,  
доцент  
А.В. Аверченков

Брянск 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ МЕТОДОВ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ.....	14
1.1. Общая характеристика гидравлических станций.....	14
1.2. Анализ существующих подходов к автоматизации проектирования гидравлических станций.....	18
1.3. Анализ конструктивных особенностей гидравлической станции. Понятие специализированная гидравлическая станция .....	21
1.4. Автоматизация проектирования технических объектов с применением метода морфологического синтеза.....	26
1.5. Обоснование выбора САПР для автоматизации СГС .....	27
1.6. Выводы к первой главе .....	29
ГЛАВА 2. ФОРМАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ПРОВЕРКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СХЕМЫ И ПОДБОРА КОНСТРУКЦИИ СГС. АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ ПРОЦЕДУР САПР СГС.....	31
2.1. Формализация описания структуры произвольных схем гидростанции .....	31
2.2. Морфологический анализ атрибутов элементарно-узловых структур гидропривода.....	32
2.3. Представление гидравлической схемы объемного гидропривода в виде математической модели .....	39
2.4. Представления морфологического множества элементов СГС.....	42
2.5. Исходный набор альтернатив конструкции СГС .....	46
2.6. Создание множества допустимых альтернатив компонентов СГС.....	51
2.7. Подбор вариантов конструкции СГС при помощи метода анализа иерархий.....	52
2.8. Построение общей методики системы автоматизированного проектирования СГС .....	57
2.9. Алгоритмизация процедуры ввода исходных данных.....	64
2.10. Алгоритмизация процедуры проверки теоретической работоспособности гидравлической схемы .....	66

2.11. Методика подбора рациональной компоновки гидравлической станции .....	68
2.13. Алгоритмы построения 3D-моделей.....	69
2.14. Выводы по второй главе.....	71
<b>ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СГС.....</b>	<b>72</b>
3.1. Актуальность и принципы создания систем автоматизированного проектирования .....	72
3.2. Обоснование выбора используемого языка программирования .....	73
3.3. Обоснование выбора используемой системы управления базами данных .....	75
3.4. Информационное обеспечение системы проектирования гидравлических станций.....	77
3.4.1. Информационное обеспечение библиотеки стандартных компонентов .....	78
3.5. Расчет основных параметров объемного гидропривода.....	80
3.4.2. Информационное обеспечение подсистемы разработки гидравлической схемы.....	85
3.4.3. Информационное обеспечение системы построения 3D-моделей элементов СГС .....	86
3.4.4. Информационное обеспечение подсистемы наглядного изображения элементов на гидравлической схеме .....	88
3.6 Выводы по третьей главе .....	89
<b>ГЛАВА 4. ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРАБОТАННОЙ САПР СГС.....</b>	<b>90</b>
4.1. Краткое описание программного комплекса .....	90
4.2. Практическая реализация САПР СГС .....	92
4.3. Оценка технико-экономической эффективности САПР СГС.....	100
4.4. Эффект от внедрения САПР СГС на промышленном предприятии. ....	101
4.5. Выводы к четвертой главе.....	104
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>105</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>107</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>119</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация проектирования технических объектов в промышленном производстве является непростой задачей и часто требует совокупной работы нескольких систем различной архитектуры с различными энергоносителями.

Технические системы делятся, в соответствии с функциональным назначением на системы управления, которые применяются для управления различным оборудованием и системы обеспечения рабочего процесса [41].

Совокупность устройств, которые относятся к системе управления, предназначенных для получения усилия и перемещения в механизмах и машинах, называют приводами. Привод различают по использованному энергоносителю электро-, пневмо- и гидропривод.

Гидроприводом называют совокупность источника энергии и устройства для ее преобразования и транспортировки жидкости к приводному устройству. В зависимости от вида гидropередачи, т.е. устройства, транспортирующего и преобразующего энергию, различают объемный, гидродинамический и смешенные приводы [1,2].

Объемный гидропривод – это совокупность устройств, предназначенных для преобразования и передачи энергии посредством рабочей жидкости под давлением, с одним или более объемными гидродвигателями [41]. Главным преимуществом объемного гидропривода является высокая точность перемещения исполнительного механизма, возможность изменения скорости перемещения машины при произвольной нагрузке, а также точное воспроизведения вращательного или возвратно-поступательного движения.

В условиях санкций, рынок предъявляет жесткие требования к качеству выпускаемых изделий, а также к промышленной гибкости. Предприятие должно понести минимальные затраты при изготовлении продукции, а также сохранить надлежащее качество изделий.

Для соответствия данным условиям необходимо в полной мере использовать возможности для автоматизации отдельных этапов проектирования.

Главная роль данного процесса это средства ЭВМ, а также системы автоматизированного проектирования (САПР).

Имеющиеся САПР используются лишь для создания конкретных задач проектирования, которые охватывают большую область применения. Эффективным же будут системы, которые непосредственно направлены на решения конкретной задачи, использующие формальные инженерные знания [19,36].

Задачи проектировщика принято делить на две основные группы. Одна группа задач включает в себя синтез структуру конструкции изделия с учетом ее функциональности – задача структурного проектирования, а другая группа задач определяет геометрические параметры изделия – задачи параметрического проектирования [37].

Необходимость автоматизации связана с постоянно увеличивающимся объемом информации, а также сокращением числа ошибок на начальных этапах проектирования и сокращением сроков проработки проектов.

Проблематика автоматизации машиностроительных изделий изложена во многих работах [12, 13, 14, 15, 16, 20, 37, 52, 68, 70], посвященных автоматизации технологической подготовки производства. В данной области проводились исследования В.И. Аверченковым, Л.А. Антипиной, В.Б. Ильицким, Ю.Н. Кузнецовым, М.Г. Косовым, П.М. Капустиным и др.

Анализ работ по проектированию объемного гидропривода показал, что основной проблемой является минимизация трудоемкости и временных затрат на проектирование. На этапе разработки насосной гидростанции большая часть времени уходит на синтез гидравлической схемы, подбор комплектующих и создание 3D-моделей элементов. Полученная гидравлическая схема нуждается в проверке на теоретическую работоспособность, а автоматизированных систем проверки недостаточно. Существующие системы верификации – это, в основном, коммерческие продукты, ориентированные на зарубежные стандарты и комплектующие.

В диссертации предлагается методика автоматизированного проектирования специализированных гидравлических станций (СГС) с помощью

морфологического синтеза, данная задача является важной и актуальной для поддержки принятия рациональных проектных решений при проектировании.

**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; тео-

рии 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.

***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 рациональных параметров технических объектов с использованием морфологического анализа и синтеза. Выбором рациональных 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.

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. Для формирования матрицы отношений

между элементами, целесообразно ее структуру описать посредством идентификации элементов и нумерации узлов.

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 отношений 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 принципиальных гидравлических схем представляет собой модуль, входными параметрами которого является разработанная конструктором принципиальная гидравлическая схема и атрибуты гидравлических элементов, которые находятся в базе.

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. Создаваемое морфологическое множество рассматриваемых кон-

структивных элементов включает в себя множество структурных решений и конструктивные исполнения уникальных гидравлических станций.

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.

Подобрав все рациональные элементы СГС, не всегда можно получить ожидаемый результат по рациональной конструкции, потому что 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  $\lambda$ , который позволит подбирать оптимальную конструкцию без наложения условий проектировщика.

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

В получившихся матрицах парных сравнений относительно определенного критерия представляются результаты экспертных оценок, для решения необходимо найти собственный вектор матрицы. 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 математического обеспечения САПР СГС проведена алгоритмизация процедур: ввода исходных данных, проверки теоретической работоспособности принципиальной гидравлической схемы, расчёта основных параметров объемного гидропривода, процедуры построения упрощенной трехмерной параметрической модели СГС, а также предложена методика подбора рациональной компоновки СГС.

В качестве лингвистического обеспечения выбран язык программирования Java. Предложена структура базы данных в СУБД PostgreSQL, которую условнопредставляется группой таблиц, предназначенных для описания параметров элементов 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 САД-системе Компас 3D, конструкция которой учитывает определенные условия и разработанную схему.

*В четвертой главе* описано применение разработанной САПР СГС - «HydraulicsCAD», 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 гидродустройств - 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.

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.

# ГЛАВА 1. АНАЛИЗ МЕТОДОВ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

## 1.1. Общая характеристика гидравлических станций

Гидравлическая станция (гидростанция) – это совокупность из одного или нескольких насосных агрегатов, гидравлического бака и элементов гидравлической системы, конструктивно исполненная как единое целое [41].

Перед началом проектирования гидравлической станции разрабатывается техническое задание (ТЗ), которое основывается на бланке заказа объемного гидропривода. Оно включает в себя основные параметры оборудования и необходимые сведения, к которым можно отнести [41, 100]::

- назначение гидравлической станции и условия работы;
- тип компоновки гидравлической станции, а также тип основных узлов входящих в ее состав;
- параметры усилия необходимые на исполнительном механизме;
- необходимые условия исполнительного механизма – скорость перемещения, демпфирование, дросселирование и т.д.

Конструктор, исходя из приведенных данных, конкретизирует комплектующие входящие в состав гидравлической станции и составляет необходимую спецификацию.

К основным этапам проектирования гидравлической станции относятся:

1. Составление принципиальной гидравлической схемы будущей станции
2. Расчет параметров основных подсистем.
3. Проверка параметров, которые были разработаны ранее.
4. Выбор компонентов, которые подходят всем условиям расчета и работы.
5. Проработка трехмерных моделей и сборочных единиц будущего оборудования.

## 6. Подготовка необходимого комплекта технической документации.

При разработке принципиальной гидравлической схемы необходимо руководствоваться параметрами, изложенными в ТЗ, а также техническими требованиями, предъявляемыми к оборудованию. Конструкция и характеристики гидравлической станции зависят от исполнительных механизмов, с которыми она будет использоваться, поэтому необходимо знать их назначение и условия эксплуатации. Разрабатывая принципиальные гидравлические схемы учитываются все возможные варианты, которые ориентированы на типовые решения и компоненты входящие в ее состав.

В ходе проработки принципиальной гидравлической схемы, специалисту необходимо решить следующие вопросы [17, 99]:

- число насосов в гидравлической станции;
- определить тип системы (замкнутая или разомкнутая);
- необходимо ли регулирование скорости выходных звеньев;
- определить вид управления;
- компоновка и расположение комплектующих.

К основным элементам гидростанции можно отнести: приводящий двигатель (источник энергии), объемный гидродвигатель (исполнительный механизм) устройство управления (контрольно-регулирующая аппаратура) и вспомогательные устройства (рисунок 1.1) [38].

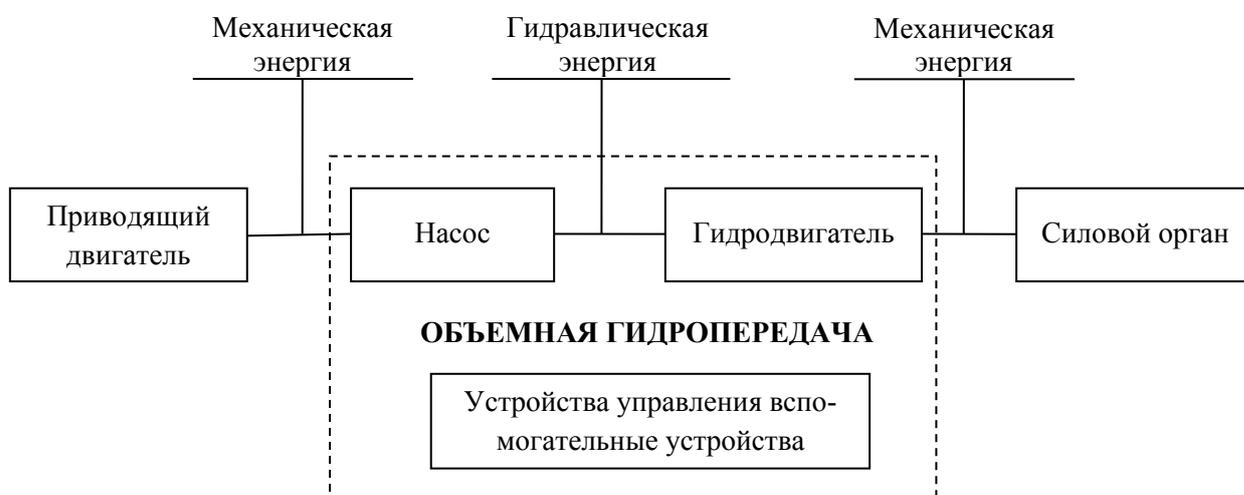


Рисунок 1.1. Структурная схема гидростанции.

Объемная гидropередача является основой каждой гидростанции, включает в себя объемный насос и объемный гидродвигатель – преобразователя энергии потока рабочей жидкости в механическую энергию выходного звена (силового органа) [20].

Устройства управления необходимы для управления потоком и поддержания необходимого давления в системе, также они используются для изменения направления движения потока рабочей жидкости. К устройствам управления можно отнести [26]:

- гидрораспределители, которые служат для изменения направления движения потока рабочей жидкости, включения в работу механизмов, реверсирования движения их выходных звеньев и т.д.;

- предохранительные клапаны, предназначены для поддержания и регулирования номинального давления в гидросистеме;

- гидравлические усилители, необходимые для управления работой насосов, гидродвигателей и предназначенные для усиления мощности сигнала управления.

- регуляторы расхода, с помощью которых управляют потоком рабочей жидкости;

Вспомогательные устройства обеспечивают надежность работы всех элементов гидростанции. К ним относятся: элементы фильтрации, уплотнительные элементы, клапаны регулирования давления, демпферные устройства, гидравлические баки, гидроаккумуляторы и т.д.

Гидролинии предназначены для прохождения по ним рабочей жидкости в процессе работы гидростанции (трубы, рукава, каналы и соединения).

На рисунке 1.2 представлена принципиальная схема гидростанции возвратно-поступательного движения [28].

Элементами гидравлической схемы возвратно-поступательного движения являются: 1 – гидравлический бак, 2 – всасывающая гидролиния, 3 – насос, 4 – гидрораспределитель, 5 – напорная гидролиния, 6 – гидроцилиндр, 7 – сливная гидролиния, 8 – фильтр, 9 – предохранительный клапан.

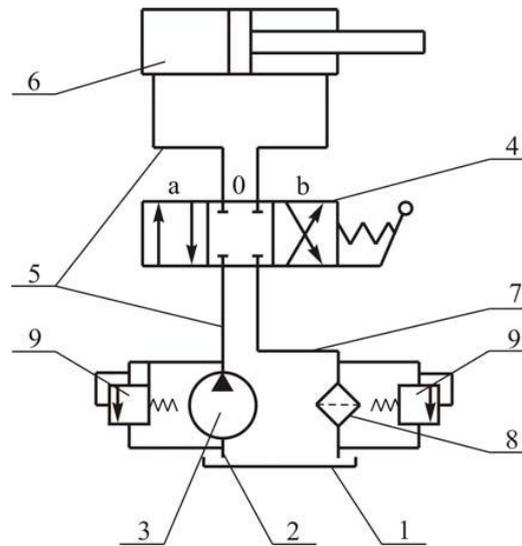


Рисунок 1.2. Гидравлическая схема гидростанции поступательного движения.

Система работает следующим образом. Рабочая жидкость из гидравлического бака 1 по трубопроводу 2 под действием разряжения, создаваемого насосом 3 подается на гидрораспределитель 4 по напорной магистрали 5 и попадает в поршневую полость гидроцилиндра 6.

Под действием увеличения объема в поршневой полости гидроцилиндра поршень начинает перемещаться вправо, передавая движения штока и звеньям связанным с ним механизмам. Рабочая жидкость из штоковой полости поступает в сливную магистраль 7 и через сливной фильтр 8 попадает в бак. Наличие внешнего сопротивления в напорной магистрали способствует поднятию давления насосом. Для того, чтобы обезопасить систему от перегрузок устанавливается предохранительный клапан 9, который настраивается на номинальное давление.

Гидростанции используются в самых различных отраслях. Широкое применение гидравлических станций обусловлено целым рядом преимуществ по отношению к другим приводам [17,20,28,38].

Основными достоинствами гидростанций являются:

- небольшие габариты оборудования на единицу мощности;
- точность позиционирования исполнительного механизма;
- быстрая смена режимов работы (пуск, реверс).

- надежное предохранение системы от возможных перегрузок;
- простота изменения скоростей движения исполнительного механизма;
- независимость расположения гидравлических устройств в пространстве создают удобства в общей компоновке машин.

К основному преимуществу относится срок работы объемного гидропривода, для большинства типов оборудования, при своевременном обслуживании он достигает до 20000 часов и более.

Недостатками при использовании гидравлической станции являются:

- сильное влияние окружающей среды на исполнительные механизмы;
- снижение КПД за счет внутренних и наружных утечек рабочей жидкости, которые увеличиваются по мере выработки технического ресурса.

## **1.2. Анализ существующих подходов к автоматизации проектирования гидравлических станций**

Основным показателем автоматизации производства является снижение материальных затрат, повышение производительности труда и сокращение сроков проектирования [13].

Проблематика создания САПР машиностроительных изделий описывается во многих работах [14, 20, 24, 41, 44, 52, 71], посвященных автоматизации технологической подготовки производства. В частности, в этой области проводили исследования В.И. Аверченков, В.Б. Ильицкий, Ю.Н. Кузнецов, Л.А. Антипина, В.В. Микитянский, Н.М. Капустин и др.

Возможность автоматизации проектирования объектов при отсутствии специализированных САПР можно решить с использованием методов адаптации универсальной системы к конкретной предметной области за счет разработки приложений, представляющих собой узкоспециализированные САПР.

Выбором рациональных параметров и изучением численных методов занимается международная компания COSEAL (Configuration and selection of

algorithms), в нее входят такие специалисты как М. Lindauer, А. Tornede. Из российских авторов можно отметить А.П. Карпенко, 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. Одриним и С.С. Картавовым и другими, основное внимание уделяется самой методологии морфологического синтеза, а вопрос моделирования морфологического множества исследований недостаточно.

Прежде чем переходить к обзору существующих подходов автоматизации СГС, необходимо дать понятие объемного гидропривода.

Гидравлическим приводом (объемным гидроприводом) называется совокупность устройств – гидромашин и гидроаппаратуры, предназначенных для передачи механической энергии и приведения в движение механизмов и машин посредством рабочей жидкости [38]. Исходя из этого определения, к объемному гидроприводу будут относиться как управляющие органы, так и исполнительные механизмы, такие как гидроцилиндры. Исходя из этого, справедливо будет рассматривать подходы к автоматизации, как объемного гидропривода, так и гидроцилиндров.

Существует множество исследований по оптимизации и созданию узкоспециализированных САПР гидроцилиндров. Одним из таких исследований является работа Беспалова В.А. «Автоматизация параметрического проектирования гидроцилиндров с учетом условий их эксплуатации» [23].

Работы в области оптимизации объемного гидропривода в основном ведутся по направлению повышения долговечности и обоснований параметров работы гидропривода. К этим исследованиям можно отнести работу Земскова А.М. «Технология повышения долговечности гидропривода» [33], также к подобным исследованиям можно отнести работы Макушева Ш.К. [40], Галина Д.К. [29], Щербина А.В. [73], Горбешко М.В. [30]. Все эти работы направлены на механическую часть гидропривода и ни одна из них не затрагивает в полной мере процедуру автоматизированного проектирования объемного гидропривода.

Разработанная подсистема оптимального проектирования и конструирования объемного гидропривода, которая приведена в [20], предназначена для автоматизированного синтеза с применением методов теории оптимизации обобщенных и конструкторских параметров типовых схмотехнических и конструкторских решений устройств и элементов привода, а также гидроприводов типовых структур.

В качестве специального вспомогательного программного модуля в данной подсистеме введена программа расчета потерь давления в соединительных каналах гидропривода. Целью этого расчета является определение больших потерь давления ( $p_k$ ), как суммы локальных потерь давления на отдельных участках соединительных каналов ( $p_{ij}$ ) [20]:

$$p_k = \sum_t p_{ij}(Q, \varepsilon(R_{eij}), \Gamma_{ij}, t_{ж}, p), \quad (1.1)$$

где  $Q$  – расход рабочей жидкости;  $\varepsilon(R_{eij})$  - коэффициент потерь на местном сопротивлении;  $\Gamma_{ij}$  - набор геометрических размеров, определяющих тип и конфигурацию местного сопротивления;  $t_{ж}$  - температура рабочей жидкости;  $p$  - давление жидкости;  $i$  – номер местного сопротивления;  $j$  – номер, указывающий тип местного сопротивления.

Исследования автоматизации проектирования объемного гидропривода реализуются лишь алгоритмом, который определяет основные параметры оборудования. Данные алгоритмы не позволяют разработать структуру объемного гидропривода, которая руководствуется ТЗ и условиями эксплуатации.

В свою очередь, необходимо понимать, что ТЗ на разработку объемного гидропривода включает в себя функциональные элементы гидросистемы, которые применяются в машиностроении. Анализ применяемых в общемашиностроительных гидроприводах элементов показывает, что в качестве основных можно рассмотреть следующие наиболее распространенные элементы: насос, гидромотор, гидроцилиндр, дроссель, клапаны прямого и непрямо-

го действия, трубопровод, гидроаккумулятор, золотниковый распределитель, регулятор мощности, гидрозамок.

В процессе расчета схемы гидропривода конструктору необходимо определить номинальное давление системы, расход, скорость перемещения исполнительных механизмов и т.д.

Анализируя работы, в области автоматизации расчета основных параметров системы и проектирования, можно выделить два подхода к построению моделей и представления их основных структур:

1. Применение теории графов, матрично-топологические методы, основанные на применении теории графов, используют для анализа гидравлических цепей и механизмов.

2. Описание известных элементов, которое лежит в основе метода конечных элементов, данная идея основывается на расчленении сложной системы на отдельные элементы, которые описываются известными математическими закономерностями, поэтому можно однозначно определить связи между элементами.

### **1.3. Анализ конструктивных особенностей гидравлической станции. Понятие специализированная гидравлическая станция**

Принято различать объемный гидропривод по таким признакам, как количество подающих насосов, типу приводящего двигателя, видам направляюще-регулирующей гидроаппаратуры и типу исполнительных механизмов. Однако в любом объемном гидроприводе можно выделить несколько подсистем, которые отвечают за определенные процессы взаимодействия.

На рисунке 1.3 представлена структура объемного гидропривода, которая включает в себя 3 подсистемы [41, 95]. Необходимо отметить, что принципиальная гидравлическая схема показывает структурную часть объемного гидропривода. Она состоит из стандартных графических обозначений эле-

ментов, которые показывают связь между компонентами системы. Направления потока гидравлической энергии на схемах силовой части привода принято снизу вверх.

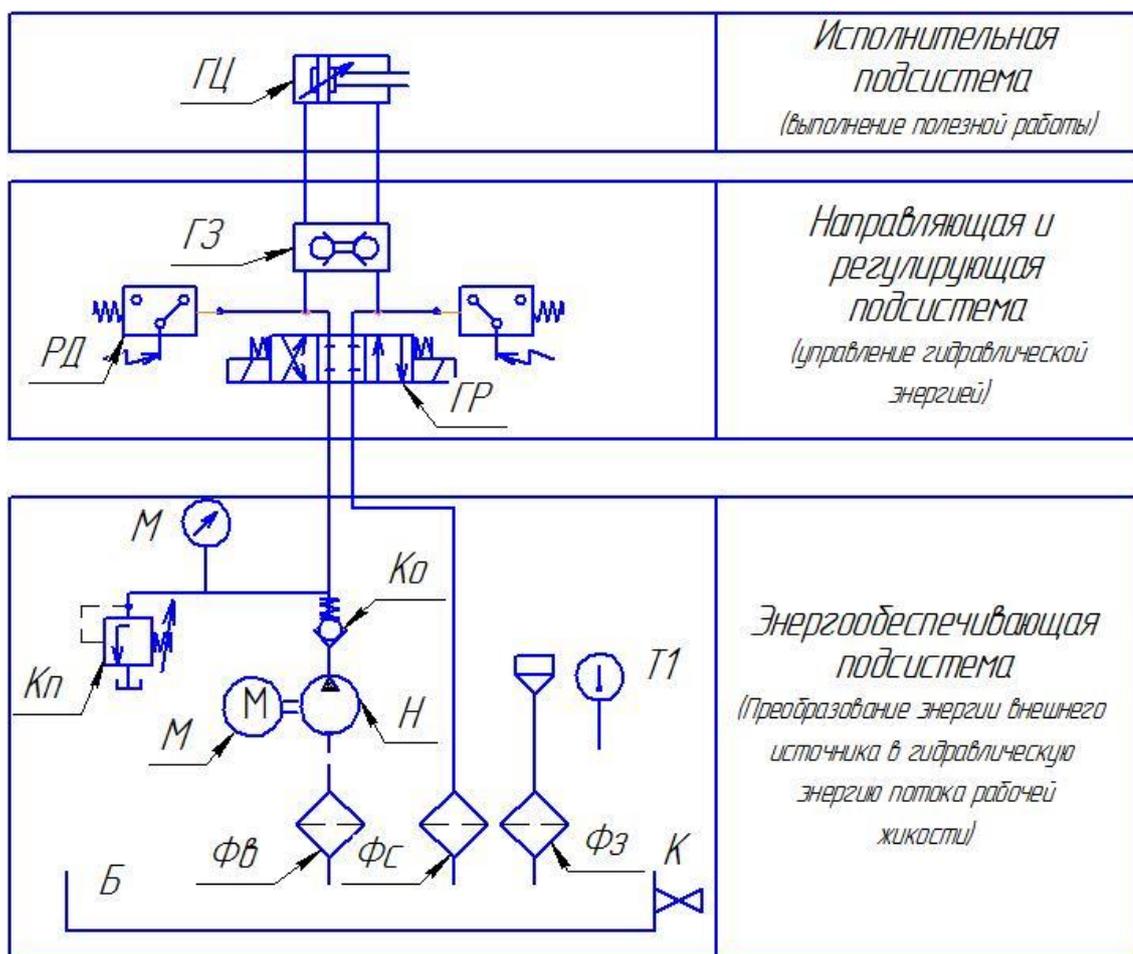


Рисунок 1.3. Структура насосной гидростанции

Направляюще-регулирующая и энергообеспечивающая подсистемы объемного гидропривода принято объединять одним понятием - гидравлическая станция. На промышленном производстве проектирование гидравлических станций 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 гидравлической станции включает в себя не менее десяти наименований элементов, которые необходимо подобрать исходя из множества факторов, которые будут влиять на эксплуатационные свойства. Если выделить основные критерии подбора

конструктивных элементов гидравлической станции такие как технологичность, надежность, стоимость, габаритные размеры и производитель, то комбинационное множество будет состоять более чем из 200 различных комбинаций, подбор каждой из которых составляет большое количество времени.

Разработка принципиальных гидравлических схем достаточно сложная инженерная задача, которая требует высокой квалификации проектировщика, которая на следующем этапе требует проверки правильности построения. Данный вид проверки можно назвать теоретической проверкой работоспособности принципиальной гидравлической схемы. Теоретическая проверка необходима для корректного проектирования и расчета основных параметров, но в исключительных случаях при проектировании сложных гидравлических станций, которые можно назвать уникальными, данная проверка отличается от реальных испытаний.

Все элементы принципиальной гидравлической схемы используются для функциональной интерпретации и состоят из одного и более основных символов. Символы не определяют ни масштабы, ни какое-либо определенное положение. Элементы в гидравлических схемах принято обозначать согласно DIN ISO 1219.

В таблице 1.1 приведена наиболее распространенная классификация основных элементов насосной гидростанции в зависимости от их типа [41].

Таблица 1.1

#### Классификация основных элементов гидростанции

Признак классификации	Вид	Сущность
1	2	3
1. По типу приводящего двигателя	Электродвигатель	Использование данного типа двигателя предусматривает наличие электрической сети 220В или 380В.
	Пневмодвигатель	Данный тип двигателя преобразует энергию сжатого воздуха в механическую работу.
		При данном типе двигателя, появляется

	Бензодвигатель	ся возможность работать со станцией без подключения к сети электропитания.
	Гидродвигатель	Преобразовывает энергию потока рабочей жидкости в механическую работу.
2. В зависимости от типа насоса.	Пластичные	Роторно-поступательный насос с рабочими органами в виде плоских пластин. Пластинчатые насосы могут быть однократного, двукратного или многократного действия.
	Шестеренные	Роторный насос с рабочим органом в виде двух шестерён.
	Винтовые	Насос, в котором создание напора нагнетаемой жидкости осуществляется за счёт вытеснения жидкости одним или несколькими винтовыми металлическими роторами, вращающимися внутри статора соответствующей формы.
	Радиально-поршневые	Насос, у которого ось вращения ротора перпендикулярна осям рабочих органов или составляет с ними угол $45^\circ$
	Аксиально-поршневые	Представляют собой устройства, при помощи которых сообщается механическая энергия рабочей жидкости, проходящей через них, или же, наоборот, получающие от этой жидкости энергию для последующей передачи.
3. По виду контрольно-регулирующей гидроаппаратуры	Ручные	Золотник переводится в одно из рабочих положений вручную.
	Электромагнитные	Предназначен для изменения направления или пуска потока жидкости с помощью электромагнитов.
	Пневматические	Предназначен для изменения направления или пуска потока жидкости с помощью пневматических сигналов.

В таблице 1.1 приведены основные элементы насосных гидростанций, но для полного функционирования станции необходимы еще элементы фильтрации, индикаторы уровня и загрязненности жидкости, аппаратно-регулирующие клапаны и др.

При проектировании станции необходимо учитывать компоновку всех перечисленных элементов. Исходя из этого, все гидравлические станции можно условно разделить на четыре большие группы:

- гидростанции с приводящим двигателем на крышке бака;
- гидростанции с приводящим двигателем в стенке бака;
- гидростанции с приводящим двигателем непосредственно рядом с баком;
- гидростанции с приводящим двигателем под баком.



Рисунок 1.4. Станция с приводящим двигателем на крышке бака.

Наиболее распространенной из всех перечисленных групп является конструкция, при которой приводящий двигатель находится на крышке бака (рис. 1.4). Данная конструкция позволяет существенно оптимизировать габаритные размеры гидростанции, уменьшить длину гидравлических трубопроводов и облегчить процесс перемещения станции.

Данную конструкцию гидравлической станции не всегда возможно спроектировать. На это влияет множество факторов, таких как: мощность приводящего двигателя, объем бака, количество гидроаппаратуры и др. По-

этому при проектировании необходимо руководствоваться ТЗ и применять наиболее подходящую компоновку.

В виду обширной номенклатуры технических элементов гидравлической станции, было принято решения ограничить область исследования до конечного множества, по трем параметрам: номинальное давления (1 - 70 МПа); номинальный расход (1-200 л/мин); номинальная температура эксплуатации (-40 град. - +110 град.). По данные ограничениям, промышленными компаниями, выпускается больше 80% гидравлических станций. Гидравлические станции в данных условиях принято называть специализированные гидравлические станции (СГС).

#### **1.4. Автоматизация проектирования технических объектов с применением метода морфологического синтеза**

Впервые идеи морфологического подхода изложил швейцарский астроном Ф. Цвикки [90] и в дальнейшем они развивались рядом исследователей, в частности В.М. Одриным и С.С. Картавовым [48-50] и другими.

В большинстве случаев нет возможности по условиям ТЗ сразу же выбрать подходящую структуру устройства, поэтому процесс выбора носит итеративный характер. Сначала разработчик определяет, к какому классу устройств будет принадлежать проектируемое изделие, а затем пытается сузить этот класс с помощью собственного опыта и уже существующих решений, и выбрать, то, которое является наиболее подходящим [90].

В основе морфологического синтеза лежит определение множества поиска, которое состоит из элементов, которое необходимо сузить до готового проектного решения. Отличительной особенностью данного подхода является возможность компьютерной реализации. Пространством поиска в данном случае будет являться конечное морфологическое множество элементов, а процесс определения конечного пространства морфологическим синтезом [48].

Результат применения морфологического синтеза – множество альтернатив, которое может задаваться в виде неявного описания, а также с помощью явного перечисления элементов. Каждое из данных множеств содержит в себе все структурные решения, которые реально существуют или потенциально возможны [49].

Для компьютерной реализации морфологические методы необходимо дополнять математическим моделированием рассматриваемых элементов и методами инженерных знаний. Данная модель представляет собой класс устройств, которая дополняется алгоритмами синтеза данных объектов по ТЗ [31].

Структурные решения рассматриваемых объектов находятся в морфологическом множестве, элементы, свойства которых одинаковые - обобщенные. Данный класс элементов – аналоги и прототипы. Общая структура представляется в виде «комбинаторного пространства», включающее в себя различные комбинации элементов, которые образуют общее описание объекта [25].

Для получения упорядоченного множества элементов необходимо выделить все классификационные признаки, и представить их в виде системы. Данное множество представляют в виде морфологического И-ИЛИ-дерева, либо морфологической таблицей [31]. Используя дано представление можно однозначно идентифицировать объект, назвав все значения его классификационных признаков.

Применение данной модели для автоматизированного проектирования гидравлических станций является наиболее целесообразным и возможным для реализации.

## **1.5. Обоснование выбора САПР для автоматизации СГС**

Системы создания и управления базами данных (БД) являются основными элементами современных систем высокого уровня. Данная система ре-

ализуется, как отдельными модулями, которые связаны с ядром системы, либо в системах БД непосредственно в ядре самой системы.

Данные системы позволяют существенно расширить возможности проектировщиков, а также реализовать функции автоматизированного проектирования, тем самым осуществив переход к системам автоматизированного проектирования (САПР).

Существует достаточно большое количество систем автоматизированного проектирования, способных решать задачи трехмерного моделирования и двумерного черчения. На предприятии также существует возможность выбора используемой САПР. К наиболее распространенным системам трехмерного моделирования относятся:

- AutoCAD;
- SolidWorks;
- Creo 2.0;
- Компас-3D;
- Inventor;
- T-FLEX CAD;
- nanoCAD.

Все вышеперечисленные системы автоматизированного проектирования сравнивались по критериям, относящимся к разным аспектам систем, как к подсистемам моделирования и черчения, так и к подсистемам программирования [81,82,83,84,88,89] (Прил. 1).

Из приложения 1, видно, что практически все коммерческие САД-системы отличаются большими оценками, так как имеют необходимый для разработки САПР функционал.

Необходимый функционал включает построение трехмерных параметрических моделей, построение ассоциативных чертежей и возможность программирования дополнительных функций, как средствами самой САПР, так и прикладными средствами.

Для разработки параметрических моделей и программирования будет использоваться отечественная система автоматизированного проектирования Компас-3D, ее функционала достаточно для реализации поставленной задачи. Преимуществами системы являются простота использования, удобная работа с чертежами и программный продукт Компас-3D от компании Аскон, является отечественной разработкой.

## **1.6. Выводы к первой главе**

1. Дана общая характеристика насосной гидростанции, основных элементов, входящих в ее состав. Рассмотрен общий подход проектирования гидростанции и выявлены плюсы и минусы объемного гидропривода.

2. Проанализированы исследования отечественных ученых в области проектирования насосных гидростанций и создания автоматизированных узкоспециализированных САПР. Сделан вывод, что все эти исследования затрагивают лишь расчеты и дают рекомендации по проектированию гидростанций и ни одно из них не охватывает комплексную автоматизацию проектирования.

3. Рассмотрены наиболее распространенные конструкции гидростанции и компонентов входящих в ее состав. Было определено, что станции с приводящим двигателем на крышке бака наиболее распространены.

4. Сформированы понятия проверки теоретической работоспособности принципиальных гидравлических схем и специализированная гидравлическая станция (СГС).

5. Рассмотрен подход к автоматизации проектирования технических объектов с помощью морфологического анализа. Сделан вывод о возможности использования данного метода при создании системы автоматизированного проектирования СГС.

6. Выявлена проблема невозможности автоматизированного проектирования гидравлических станций, имеющая существенную значимость и требующая решения.

7. Для разработки параметрических моделей была выбрана система КОМПАС-3D, так как она в данный момент активно используется на большинстве предприятий и имеет достаточно емкое описание прикладного программного интерфейса.

8. Классические методы проектирования СГС занимают много времени на подготовку только одного эскизного проекта, в связи с этим актуальной является разработка алгоритмов, методик и программного обеспечения для автоматизации проектирования СГС.

## **ГЛАВА 2. ФОРМАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ПРОВЕРКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СХЕМЫ И ПОДБОРА КОНСТРУКЦИИ СГС. АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ ПРОЦЕДУР САПР СГС.**

### **2.1. Формализация описания структуры произвольных схем гидростанции**

Разработка гидравлических схем и проектирование насосной гидравлической станции, осуществляется конструктором на основании ТЗ, но в большинстве случаев информации, которая находится в ТЗ недостаточно, поэтому конструктор должен найти рациональные решения на каждом этапе проектирования. На последующих этапах принимать решение все труднее, поскольку для их осуществления требуются все большие временные затраты и ресурсы. Важное значение имеет принятие решений на самых первых этапах проектирования [19, 91].

Простейшая (элементарная) схема объемного гидропривода включает элементы: насос, обратный клапан, предохранительный клапан, кран, гидроцилиндр, бак, рабочая жидкость и трубопроводы. Элементарная схема включает в себя минимальное количество элементов и при отсутствии одного из элементов становится неработоспособной [91].

Схемы в зависимости от их основного назначения разделяют на следующие типы [28]:

- структурные,
- принципиальные,
- соединения.

Под гидравлической схемой понимается документ, который показывает движение гидравлической жидкости, в результате которого совершается работа. Для того чтобы совершить работу, необходимо чтобы поток жидкости поступил в исполнительный механизм, силовой привод или гидромотор, а затем вернулся обратно в гидравлический бак [28].

В виду большого количества видов гидравлических схем, в рамках данной работы рассматривались принципиальные гидравлические схемы, которые определяют полный состав элементов и дают определение о принципах работы изделия. Данный вид схем хорошо подходит для дальнейшей проработки конструкторских чертежей, технических документов, а также наглядно показывает принцип работы изделия. Главным требованием к составлению данных схем можно отнести компактность, количество типов элементов на схеме должно быть минимальным, но в целом должно быть понимание об объекте в целом для его производства, ремонта и эксплуатации.

При создании принципиальной гидравлической схемы необходимо учитывать такие факторы: номинальным давлением (ГОСТ 12445-80) и номинальным расходом жидкости (ГОСТ 13825-80), а также типоразмерами гидрооборудования.

От выбора значения номинального давления зависит несколько очень важных параметров, таких как габаритные размеры, материалоемкость, стоимость и надежность работы гидропривода.

Выбор значения расхода влияет на габаритные размеры гидропривода, в зависимости от этого значения подбирается диаметр условного прохода системы. Диаметр условного прохода (мм) выбирается из ряда: 6; 10; 16; 25; 50; 75. Данный параметр оказывает существенное влияние на дальнейшую компоновку гидропривода.

## **2.2. Морфологический анализ атрибутов элементарно-узловых структур гидропривода**

Современный подход разработки сложных технических устройств подразумевает создание трехмерных моделей элементов, которые описывают формальное представление структуры системы. Проанализировав работы в рамках автоматизации объемного гидропривода, можно сделать вывод, что описание структуры и построение моделей делается двумя подходами:

1. Методы теории графов, они используются для анализа электронных схем, гидравлических цепей, механизмов.

2. Включает в себя использование известного описания отдельных функциональных элементов. Эта идея лежит в основе морфологических методов, когда сложную систему можно представить в виде морфологического множества элементов, математическое описание которых заранее известно и для которых можно однозначно определить условия связей элементов. В процессе описания такой системы необходимо указать имя элемента, задать необходимые константы и обозначить его входы и выходы. Элементов может выступать любое из функциональных устройств гидравлической станции. Следовательно, структура произвольной функциональной схемы может быть описана с помощью морфологического множества.

Для описания структурной схемы произвольного гидропривода, необходимо разработать специальные таблицы, позволяющие анализировать исходную информацию и в зависимости от состава элементов рассматриваемой схемы формировать общую математическую модель привода.

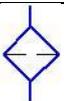
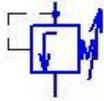
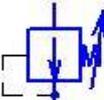
Вся исходная информация для проверки теоретической работоспособности принципиальной гидравлической схемы должна быть представлена в виде двух основных частей: информация о структуре рассматриваемой схемы и информация, содержащая физические константы и конструктивные параметры элементов.

В первой главе гидропривод рассматривался, как совокупность трех подсистем: энергообеспечивающей, направляющей и регулирующей, исполнительной. К каждой из этих подсистем можно отнести определенную группу элементов, описание атрибутов которых необходимо произвести. Условные графические обозначения гидравлических элементов, будут представлены согласно DIN ISO 1219. Основные параметры:  $P$  – номинальное давление,  $D_u$  – диаметр условного прохода,  $T$  – номинальная температура,  $Q$  – номинальный расход,  $V$  – объем,  $N$  – мощность привода,  $n$  – частота вращения.

Энергообеспечивающая подсистема отвечает за преобразование энергии внешнего источника в гидравлическую энергию потока рабочей жидкости. Элементами данной подсистемы являются: двигатель, насос, фильтр, клапан, манометр, бак и др. Описание элементов данной подсистемы приведено в таблице 2.1 [99].

Таблица 2.1

Описание атрибутов энергообеспечивающей подсистемы

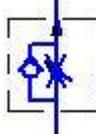
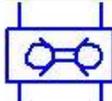
Элемент	Обозначение	Входные параметры	Преобразования	Выходные параметры	Место расположения
Бак		V	–	–	–
Фильтр всасывающий		Ду, Q, степень фильтрации	–	Ду, Q	До насоса
Фильтр напорный		P, Ду, Q, T, степень фильтрации	Небольшое изменение давления	P, Q, T, Ду	Напорная линия
Фильтр сливной		Ду, Q, степень фильтрации	–	Q, Ду	Сливная линия
Привод		N, n, тип привода	–	N, n	Рядом с насосом
Насос		P, Ду, Q, T, тип насоса	Повышение: P, Q, T	P, Ду, Q, T	Рядом с приводом
Обратный клапан		P, Ду, Q	Пропускает жидкость только в одном направлении	P, Ду, Q	Тупиковая ветвь в одном направлении
Заливная горловина		Ду	–	–	–
Термометр		T	Измерение T	T	–
Клапан предохранительный		P, Ду, Q	Сброс избыточного давления	P, Q	Напорная линия
Манометр		P, Ду	Измерение давления	P	Напорная линия
Редукционный клапан		P, Ду, Q	Поддержание заданного давления	P, Q	Напорная линия
Реле уровня		Ду, V	–	V	–

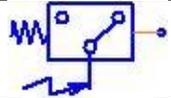
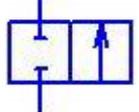
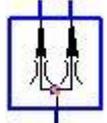
Расходомер		Ду, Q	–	Q	Сливная линия
Гидро-аккумулятор		P, Ду, Q, T	Потери: P, Q	P, Q,	Напорная линия
БРС		P, Ду	–	P	Напорная, сливная линии
Воздушный теплообменник		P, Ду, Q, T	Потеря Q	Q, T	Сливная линия
Водяной теплообменник		P, Ду, Q, T	Потеря Q	Q, T	Сливная линия

Второй подсистемой является направляющая и регулирующая подсистема, которую можно условно разделить на несколько видов элементов, которые воздействуют на основные свойства жидкости (расход, температура, давление) и меняют направление движения. К элементам, которые влияют на свойства жидкости относятся: дроссели, гидрозамки, реле давления, клапаны ограничения перемещения и т.д. Описание атрибутов данных элементов представлены в табл. 2.2 [99].

Таблица 2.2

Описание атрибутов регулирующей и направляющей подсистемы

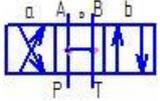
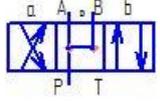
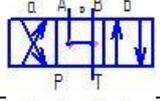
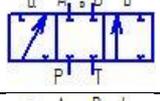
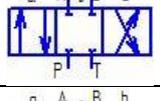
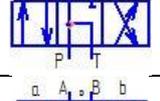
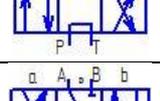
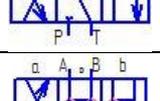
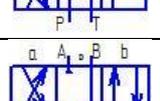
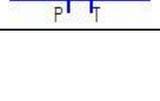
Элемент	Обозначение	Входные параметры	Преобразования	Выходные параметры	Место расположения
Дроссель регулируемый		P, Ду, Q	Изменение: P,Q	P, Q	Напорная, сливная линии
Дроссель регулируемый с обратным клапаном		P, Ду, Q	Изменение: P,Q только в одном направлении	P, Q	Напорная, сливная линии
Клапан «ИЛИ»		P, Ду, Q	Изменение Q	P, Q	Напорная, сливная линии
Одноклапанный гидрозамок		P, Ду, Q	–	P, Q	Напорная, сливная линии
Двухклапанный гидрозамок		P, Ду, Q	–	P, Q	Напорная, сливная линии

Реле давления		P, Q	–	P	Напорная линия
Клапан ограничения перемещения		P, Ду, Q	Изменение Q	P, Q	Напорная, сливная линии
Делитель потока		P, Ду, Q	Изменение Q	P, Q	Напорная, сливная линии

К элементам, которые меняют направление жидкости, относятся гидрораспределители. Основными характеристиками которых являются номинальное давление, диаметр условного прохода, количество выходов и гидравлическая схема, описание элементов представлены в табл. 2.3 [99].

Таблица 2.3

### Описание гидрораспределителей

Наименование	Номер схемы	Обозначение
Гидрораспределители четырех линейные трех позиционные	14	
	24	
	34	
	43	
	44	
	54	
	64	
	74	
	114	
	134	

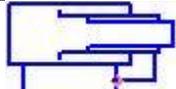
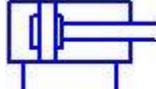
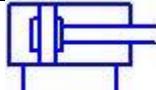
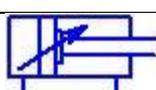
	143	
	154	
	184	
Гидрораспределители четырех линейные двух позиционные	573	
	574	
	584	
	594	

В исполнительную подсистему объемного гидропривода входят устройства, которые совершают полезную работу. К таким устройствам относятся гидроцилиндры основными параметрами, которых являются:  $D$  – диаметр поршня,  $d$  – диаметр штока,  $H$  – ход гидроцилиндра,  $F$  – усилия развиваемое гидроцилиндром. Описание гидроцилиндров представлены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

#### Описание гидроцилиндров

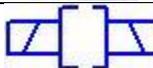
Гидроцилиндр	Конструктивное исполнение	Условное обозначение
Одностороннего действия	С гравитационным возвратом штока	
	С пружинным возвратом штока	
	Плунжерный	
	Телескопический	
Двухстороннего действия	С односторонним штоком	
	С двух сторонним штоком	

	Телескопический	
С демпфированием	С постоянным демпфированием	
	С постоянным демпфированием в конце хода с двух сторон	
	С регулируемым демпфированием в конце хода с одной стороны	
	С регулируемым демпфированием в конце хода	

Всех вышеперечисленных гидравлических элементов достаточно, чтобы построить и проверить на работоспособность гидравлическую схему, но для правильного подбора комплектующих необходимо знать тип управления. Управление не оказывает существенного влияния на работоспособность гидравлической схемы, она влияет только на логику работы и подбор необходимых комплектующих. Описание типов управления представлены в табл. 2.5.

Таблица 2.5

### Типы управления

Воздействие	Тип управления	Условное обозначение
Механическое	Пружина	
	Ручное управление	
	Кнопка	
	Рычаг	
	Педаля	
	С фиксацией	
Удаленное	Пилотное	
	Гидравлическое	
	Пневматическое	
	Пневмо-гидравлическое	
	Соленоид	

### **2.3. Представление гидравлической схемы объемного гидропривода в виде математической модели**

В общем комплексе работ схемотехнического этапа проектирования гидроприводов начальными операциями являются разработка гидравлической схемы привода, определение его характеристик и исследование рабочих процессов. Все эти операции объединяет общий термин «проектирование», а реализующую их подсистему САПР — «подсистемой автоматизированного проектирования». Результаты проектирования несут важную информацию для конструктора и, кроме того, во многом определяют эффективность проектных операций второго уровня: параметрической оптимизации, назначения допусков, статистических исследований и других, что подчеркивает важность этой подсистемы в общей структуре САПР гидравлического оборудования [91, 92].

Исходной информацией на этапе проектирования систем гидроприводов является начальный вариант принципиальной схемы с предварительными значениями параметров. Взаимодействие подразумевает следующие действия конструктора: описание объекта на входном языке пакета; разработку задания на выполнение требуемого вида проектирования и представление его средствами входного языка.

С точки зрения проектировщика, в качестве составных элементов наиболее удобно принять конструктивные блоки, из которых состоит система: клапаны, трубопроводы, гидроусилители различных типов, насосы, гидродвигатели и т. д. Тогда описание системы может быть составлено на основе обычной принципиальной схемы после незначительной ее доработки и известных значений параметров компонент. В библиотеку должны быть предварительно помещены готовые математические модели типовых компонент, объединяемые в общую математическую модель схемы принятым алгоритмом формирования, исходными данными для которого будут приведенная в описании нумерация узлов подсоединения и имена типов компонент.

Принципиальная схема проектируемой системы не содержит информации о математическом представлении ее составных элементов. Учитывая важность графического представления проектируемой системы и необходимость оперирования не только с элементным составом, но и с физическим представлением элементов, введем еще одно понятие – представление гидравлической схемы в виде математической модели.

Большинство принципиальных схем можно представить в виде цепи, состоящей из объединенных между собой через внешние узлы типовых компонент. На рис. 2.1а представлена простейшая гидравлическая схема объемного гидропривода.

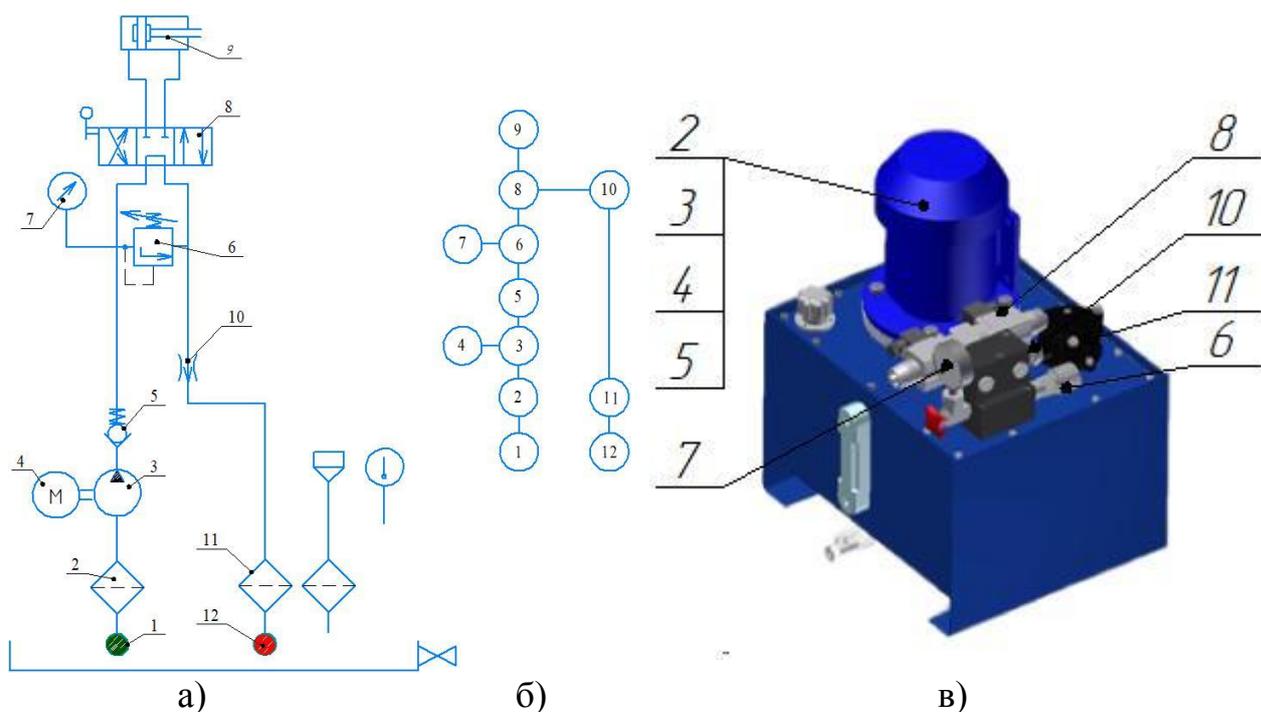


Рис. 2.1. Гидравлическая схема

Для проверки работоспособности гидравлической схемы, представленной на рис. 2.1а необходимо преобразовать ее в математическую модель. Для простоты преобразования представим схему в виде графа, вершинными которого будут являться элементы схемы, а дугами отношения между этими элементами (рис. 2.1б).

На рис. 2.1а некоторым элементам не присвоен порядковый номер, они также не включены в граф. Это обусловлено тем, что данные элементы существенно не влияют на работоспособность гидравлической схемы и при проверке их можно не рассматривать [94].

Для автоматической проверки работоспособности гидравлической схемы не достаточно лишь заменить гидравлическую схему графом. Чтобы проверить работоспособность схемы, необходимо преобразовать полученный граф в матрицу отношений между элементами. В таблице 1 представлена матрица отношений между элементами  $A(i, j)$ , для гидравлической схемы рис. 2.1а.

Таблица 2.6

Матрица отношений элементов гидравлической схемы  $A(i, j)$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0

По матрице отношений можно однозначно определить взаимосвязь элементов друг с другом, расположение элемента в гидравлической схеме и точку перехода между напорной и сливной линией. Задав необходимые свойства каждого элемента, и зная его расположения в гидравлической схеме, можно проводить проверку на работоспособность гидравлической схемы.

## 2.4. Представления морфологического множества элементов СГС

В диссертационной работе описывается методика создания математической модели выбора конструкции специализированной гидравлической станции с учетом разработанной принципиальной гидравлической схемы. Данная модель ориентирована на основные задачи формирование морфологического множества альтернатив, проведение оценки по основным критериям, на основании чего ранжирование альтернатив с учетом предпочтительности, формализация требований, предъявляемых к основным узлам гидравлической станции. Данная методика основывается на применении метода анализа иерархий (МАИ) [21, 22, 26, 67, 91].

Требуемые функциональные характеристики СГС, возможно, обеспечить при помощи нескольких различных вариантов компоновки. Для выбора конструкции необходимо задать ее основные и эксплуатационные характеристики. К основным характеристикам СГС относятся номинальное давление, номинальный расход и рабочая температура. Типы и марки комплектующих выбираются с учетом данных характеристик [100].

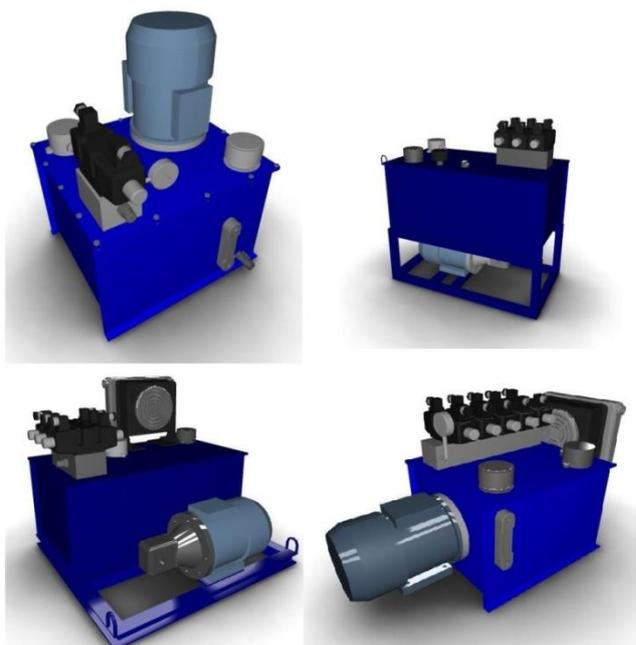


Рис. 2.2. Основные типы конструктивного исполнения гидравлической станции

К эксплуатационным характеристикам относятся режим работы СГС и конструктивное исполнение. Основные типы конструкционного исполнения представлены на рис. 2.2.

Для того чтобы реализовать математическую модель выбора вариантов компоновки компонентов гидростанции необходимо выбрать критерии оценивания альтернативных сочетаний этих узлов.

Существует множество вариантов компоновок гидравлической станции, которые в первую очередь зависят от элементов входящих в структуру гидравлической станции. Для решения задачи выбора компоновки гидравлической станции необходимо использовать рациональный выбор альтернатив компонентов гидростанции. Выбор наиболее подходящих компонентов гидравлической станции производится из морфологического множества, представленного в виде И-ИЛИ-дерева (рис.2.3) на основании метода парного сравнения [91].

По разработанной гидравлической схеме можно выделить четыре условные группы гидравлических станций:

- приводящий двигатель располагается на крышке бака;
- приводящий двигатель располагается рядом с баком;
- приводящий двигатель располагается под баком;
- приводящий двигатель располагается в стенке бака.

Проектирование гидравлических станций должно производиться с учетом их эксплуатационных свойств. Эксплуатационные свойства определяются исходя из основных параметров гидравлической станции: номинального давления, расхода и температуры рабочей жидкости.

Основываясь на анализе основных элементов гидравлической станции, предлагается синтез конструкции гидравлической станции свести к выбору предпочтительных элементов каждого из этих узлов. В этом случае принципиальную схему гидростанции можно представить следующим образом (рис. 2.4).

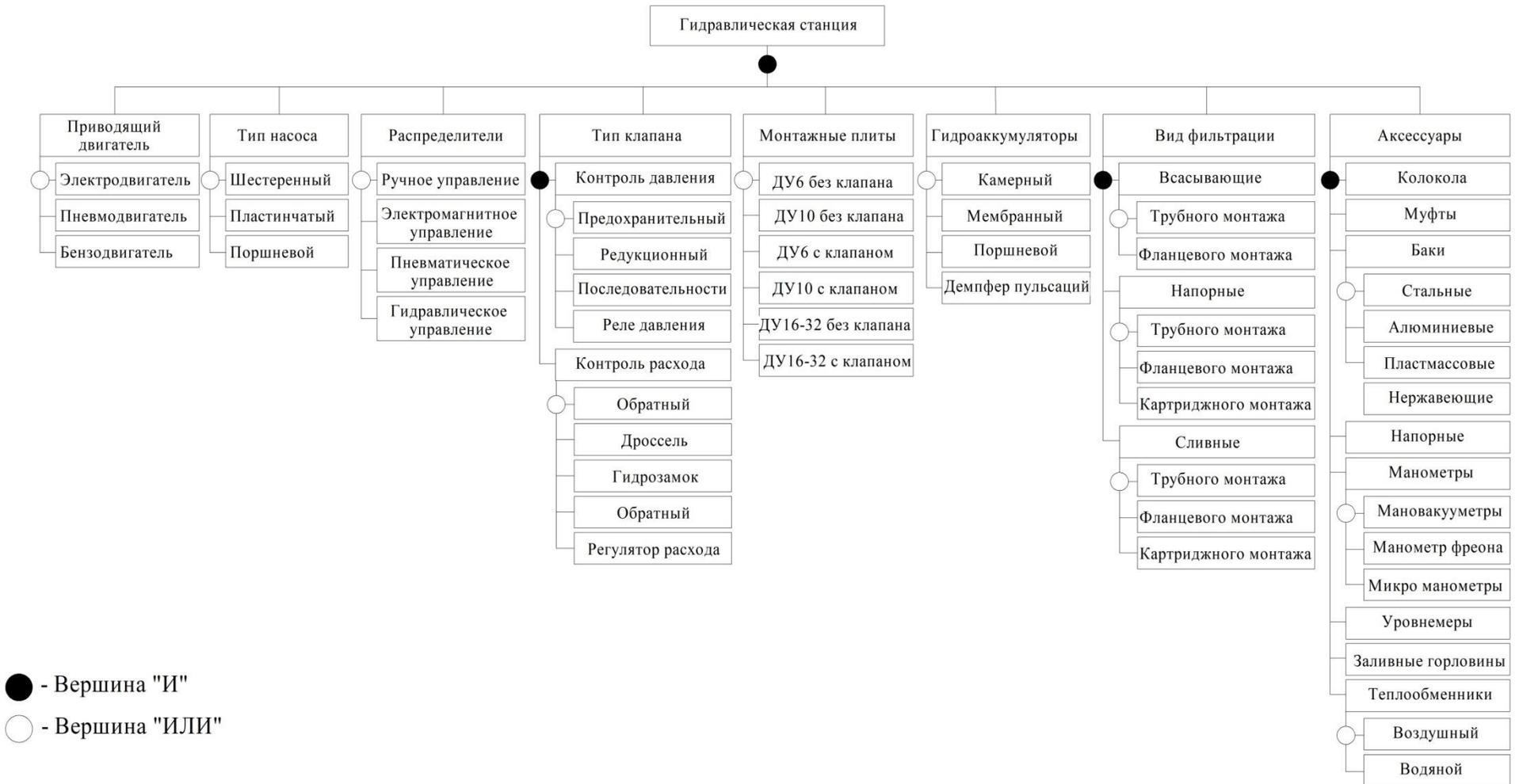


Рис. 2.3. Морфологическое множество элементов СГС, представленное в виде И/ИЛИ дерева

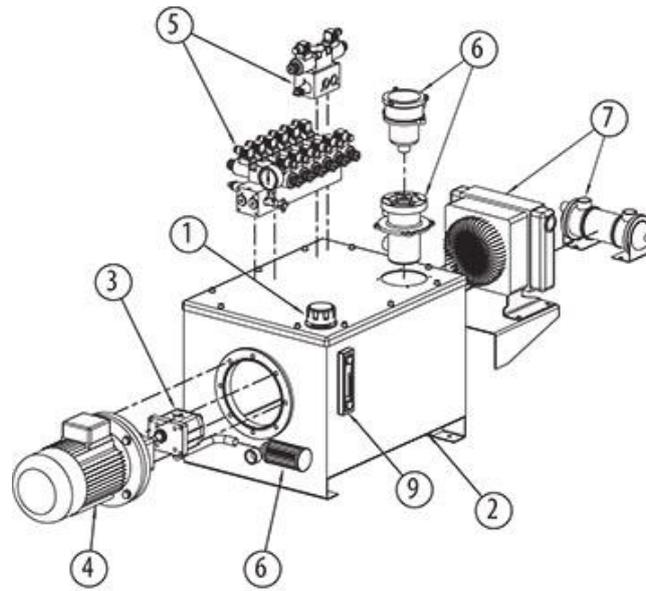


Рис. 2.4. Компоновка станции с двигателем в стенке бака

Компонентам разработанной принципиальной гидравлической схемы, соответствуют несколько конструктивных элементов, которые хранятся в базе данных (БД) в виде параметрических моделей. На выбор необходимого элемента влияет соответствующий критерий, по которому производилась оценка с использованием метода парных сравнений. В результате выбранные альтернативы узлов СГС в совокупности формируют компоновку станции.

Проанализировав основные элементы гидравлической станции и их характеристики, можно выделить две группы элементов:

1. Элементы, параметры и конструкции которых зависит от требований ТЗ на проектирование.

2. Элементы, параметры которых зависит от условий их эксплуатации.

В первую группу входят элементы гидравлической станции:

1. Тип приводящего двигателя.
2. Тип насоса.
3. Вид управления гидрораспределителем.
4. Разновидность клапанов.
5. Количество исполнительных органов.

Во вторую группу входят:

1. Использование реле давления.
2. Вид фильтрации.
3. Применение гидроаккумулятора.
4. Использование электронных реле уровня и температуры.

Проанализировав характеристики и условия эксплуатации элементов, входящих в структуру гидравлической станции, были предложены следующие критерии выбора альтернатив:

1. номинальное рабочее давление;
2. номинальный расход;
3. номинальная температура;
4. количество часов работы оборудования.

## **2.5. Исходный набор альтернатив конструкции СГС**

Для обеспечения процедуры выбора конструкции СГС, основываясь на ее структуре (рис.2.3.), определим множество допустимых для компоновки элементов станции:

- приводящий двигатель;
- тип насоса;
- распределители;
- тип клапана;
- монтажные плиты;
- гидроаккумуляторы;
- вид фильтрации;
- аксессуары.

При проектировании обычно отсутствует возможность выбрать рациональную конструкцию устройства, основываясь лишь на техническом задании. Обычно конструктор определяет, к какому классу устройств будет принадлежать проектируемое устройство, а затем пытается сузить этот класс, попробовать несколько решений и выбрать оптимальное [26, 91].

Как уже было описано ранее, результатом морфологического анализа является морфологическое множество (множество альтернативных решений). Применительно к специализированным гидравлическим станциям, такое множество содержит в себе компоновки и структурные решения реально существующих компонентов. Чтобы представить такое множество необходимо классифицировать основные элементы СГС при этом выделяя их возможные значения и признаки. Данная классификация характеризуется строгостью, потому что уже заданы все значения признаков по ним можно идентифицировать компоновку устройства [34, 39].

Разрабатываемое морфологическое множество технических элементов включает в себя четыре структурные и конструктивные решения исполнения СГС. Данное множество должно быть полностью упорядоченным.

Для выбора конструкций СГС, необходимо иметь описание основных ее элементов и алгоритмы оценки конкретных показателей каждого элемента. При помощи метода морфологического синтеза был выявлен набор альтернатив конструкций, который представлен в виде И/ИЛИ-дерева.

Для описание морфологического множества конструкции в виде И/ИЛИ дерева была предложена следующая последовательность действий:

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

Исходное И/ИЛИ-дерево структуры гидравлической станции обозначим как  $T$ , а  $M$  – модель узла данного дерева. Сформированное И/ИЛИ-дерево имеет узлы трех типов: «И», «ИЛИ» и терминальный. Терминальный узел будет являться альтернативным вариантом элемента гидравлической станции. Тогда

$$M = (I_M, \gamma_M, R, S_M), \quad (2.1)$$

где  $I_M$  - имя вершины;

$\gamma_M$  - тип узла («И», «ИЛИ», терминальный);

$R$  - родительский узел;

$S_M$  - множество подчиненных узлов.

Для терминальных узлов  $S = \emptyset$ . Для корня  $R$  - не определено.

Альтернатива  $X$  для всех вариантов, представляет собой поддерево исходного дерева  $T$  и определяется рекурсивно следующим образом:

$$M_0 \in X, \quad (2.2)$$

где  $M_0$  - корень дерева  $T$ ;

если  $M \in X$  и  $\gamma = \langle \text{И} \rangle$ , то

$$\forall \gamma \in S_M \quad (2.3)$$

если  $M \in X$  и  $\gamma = \langle \text{ИЛИ} \rangle$ , то

$$\exists \gamma \in S_M, \quad (2.4)$$

где  $\gamma \in X$ .

С точки зрения структуры, недопустимых альтернатив нет.

Необходимо определить количество альтернатив исходного И/ИЛИ дерева. Пусть  $K$  – подмножество узлов, непосредственно детализируемых термальными узлами.

$$K = \{K_1, K_2, \dots, K_p\}, \quad (2.5)$$

где  $p$  - количество узлов. Основываясь на структуре гидравлической станции (рис. 2.2)  $p = 18$ .

Зададим подмножество термальных узлов  $S_L$ , задающих детализацию узла  $K_L$ :

$$S_L = \{S_1^L, S_2^L, \dots, S_{n_L}^L\}, \quad (2.6)$$

где  $n_L$  – множество всех элементов множества  $S_L$ .

Сопоставим название элементов гидравлической станции с введенными обозначениями. В результате получаем:

$K = \{\text{тип приводящего двигателя, вид насоса, гидрораспределители, контроль давления, контроль расхода, монтажные плиты, гидроаккумуляторы, всасывающие фильтры, напорные фильтры, сливные фильтры, баки, манометры, теплообменники, заливные горловины, уровнемеры, колокола, муфты, }\}$ .

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

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

$S_3 = \{\text{ручное управление, электромагнитное управление, гидравлическое управление, пневматическое управление}\}.$

$S_4 = \{\text{предохранительный клапан, редукционный клапан, клапан последовательности, реле давления}\}.$

$S_5 = \{\text{обратный клапан, дроссель, гидрозамок, регулятор расхода}\}.$

$S_6 = \{\text{ДУ6 без клапана, ДУ10 без клапана, ДУ6 с клапаном, ДУ10 с клапаном, ДУ16-32 без клапана, ДУ16-32 с клапаном}\}.$

$S_7 = \{\text{камерный гидроаккумулятор, поршневой гидроаккумулятор, мембранный гидроаккумулятор, демпфер пульсаций}\}.$

$S_8 = \{\text{трубного монтажа, фланцевого монтажа}\}.$

$S_9 = \{\text{трубного монтажа, фланцевого монтажа, картриджного монтажа}\}.$

$S_{10} = \{\text{трубного монтажа, фланцевого монтажа, картриджного монтажа}\}.$

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

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

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

*В рамках данной работы типы узлов  $S_{14}, S_{15}, S_{16}, S_{17}, S_{18}$  будут иметь только один вид конструкции.*

С учетом принятых обозначений и представлением объекта в виде морфологического И/ИЛИ-дерева конструкция СГС поле преобразований будет выглядеть следующим образом (рис. 2.5).

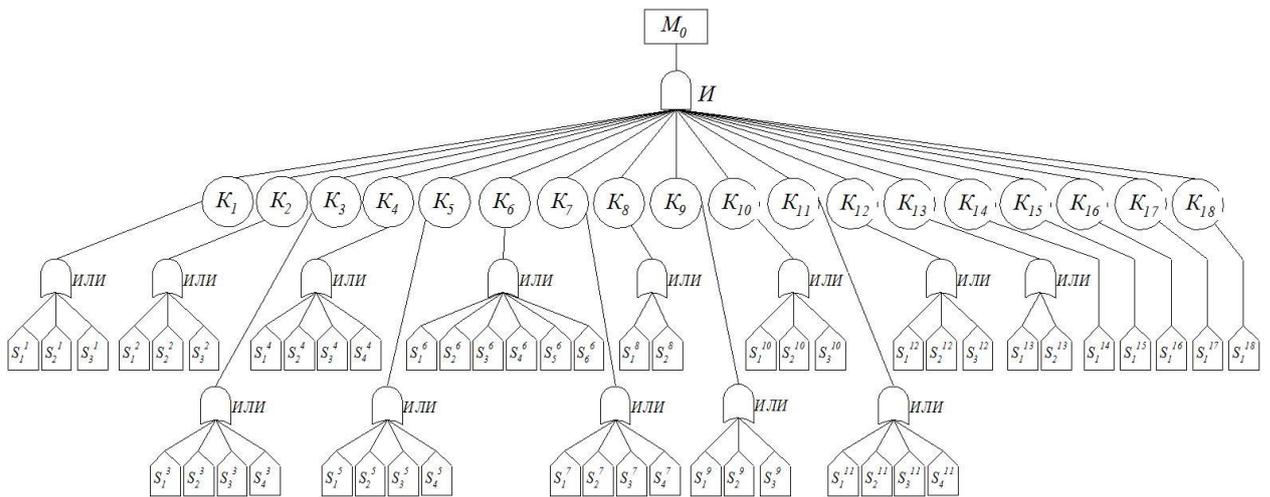


Рис. 2.5. Формальное описание конструкции гидравлической станции в виде И/ИЛИ-дерева

Данное описание можно представить в виде примера решенного «И» дерева (рис. 2.6).

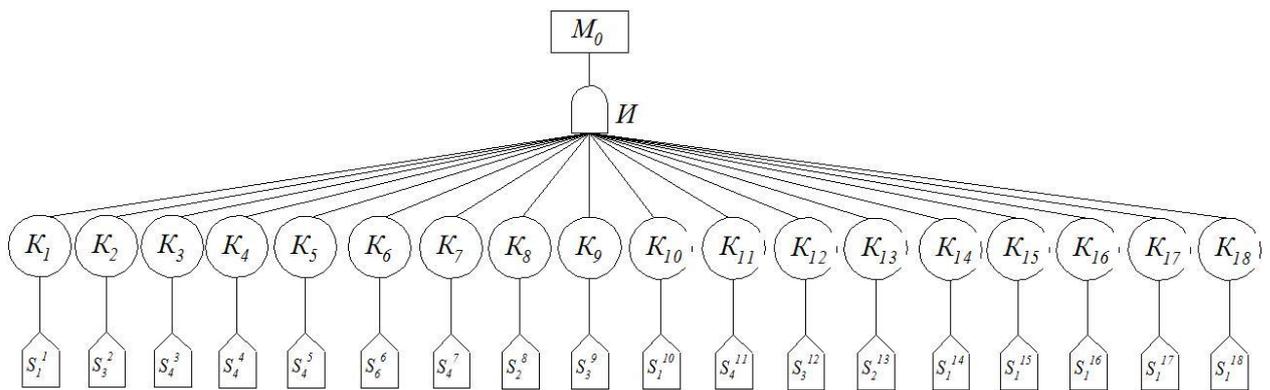


Рис. 2.6. Выбранные альтернативы

Для генерации множества альтернатив необходимо обеспечить минимальное количество терминальных узлов И/ИЛИ дерева. Сформированное на И/ИЛИ-дерево (рис.2.3) состоит из двух типов терминальных узлов:

1. конструктор самостоятельно задает варианты компоновки и параметры;
2. варианты, которые имеют оценку в зависимости от заданных критериев.

На первоначальном этапе ввода данных, определяются узлы, конструкция и параметры которых зависят от технического задания. К таким узлам относятся: двигатели, распределители, насосы, колокола, баки, заливные горловины, уровнемеры.

Оцениваемые узлы можно разделить на 2 группы:

1. конструкция определена однозначно;
2. конструкция зависит от нескольких параметров (номинального давления, расхода и температуры).

Основываясь на данном разделении, для оценки каждого типа вершин дерева используется свой набор критериев.

Исходный набор конструкций исполнения узлов для рассмотрения можно представить в виде множества  $L_0$ :

$$L_0 = \{L_j | j = 1, \dots, J_0\}, \quad (2.7)$$

где  $J_0$  - количество исследуемых конструкций исполнения узла гидравлической станции.

Для каждого узла, конструкция которого зависит от параметров, существует свой диапазон значений давления:

$$p_{min} < p_j < p_{max}. \quad (2.8)$$

Рекомендуемый диапазон номинального расхода:

$$Q_{min} < Q_j < Q_{max}. \quad (2.9)$$

Рекомендуемый набор рабочих температур:

$$T_{min} < T_j < T_{max}. \quad (2.10)$$

Необходимо учитывать, что не все критерии можно представить в виде измеримых понятий, для критериев, таких как технологичность оценка будет осуществляться с использованием метода парных сравнений [91].

## **2.6. Создание множества допустимых альтернатив компонентов СГС**

Множество допустимых альтернатив элементов специализированной гидравлической станции формируются на основе базового набора их возможных вариантов с использованием критериев выбора. Данный процесс можно представить в виде последовательности действий:

1. Из выбора исключаются компоненты гидравлической станции, которые не соответствуют основным параметрам выбора (номинальное давление, расход, температура). Следовательно, на данном шаге первоначальное множество конструкций узлов  $L_0$  преобразовывается до подмножества  $L$ .

2. Необходимо выполнить анализ множества альтернатив компонентов для нахождения таких значений, которые удовлетворяют условиям (2.8) - (2.10). В результате данного действия сформировано начальное множество альтернатив, содержащее те варианты компонентов, которые удовлетворяют ТЗ и расчетным параметрам:

$$M_i = \left\{ \begin{array}{l} L_K | L_K \in L; \exists P \in P_j: P_{min} < P_j < P_{max}; \\ \exists Q \in Q_j: Q_{min} < Q_j < Q_{max}; \\ \exists T \in T_j: T_{min} < T_j < T_{max} \end{array} \right\}, \quad (2.11)$$

где  $P_{min}$  и  $P_{max}$  – минимальное и максимальное давление для компонента;

$Q_{min}$  и  $Q_{max}$  – минимальный и максимальный рабочий расход для компонента;

$T_{min}$  и  $T_{max}$  – минимальная и максимальная рабочая температура для компонента.

3. Необходимо провести ранжирование для каждой альтернативы из множества  $M$  на основании параметров  $L$ , в соответствии с уровнем их предпочтительности в условиях ТЗ [91].

## **2.7. Подбор вариантов конструкции СГС при помощи метода анализа иерархий**

На предпочтительность того или иного узла гидравлической станции помимо номинального давления, расхода и температуры влияют еще дополнительные критерии, к которым обычно относятся надежность и технологичность конструкции, сроки поставки, стоимость и габаритные размеры. Необходимо отметить, что различные альтернативы удовлетворяют каждому из этих условий в разной степени. Кроме того степень принадлежности по раз-

ным критериям влияет по-разному на общую предпочтительность. Не всегда можно дать четкую оценку предпочтительности в виде числа, зачастую такая оценка выражается экспертами в словесной форме, а в некоторых случаях информация несет в себе лишь относительную предпочтительность одной альтернативы над другой [91].

Для процедуры оценок предпочтительности альтернатив используется метод многокритериального анализа решений, который учитывает необходимые свойства, данное положение заложено в методах анализа иерархий (МАИ) [67, 71]. В этом методе оценка предпочтительности альтернативы рассматривается, как совокупность оценок по определенным признакам, а процедура оценивания сводится к синтезу альтернатив по каждому критерию [64].

Пользуясь МАИ необходимо разбить исходную задачу на простые составляющие, в результате получится иерархия, вершиной которой является главная цель, а на промежуточных уровнях находятся критерии оценки. Множество альтернатив элементов базируются на нижнем уровне оценки.

Для того чтобы определить предпочтительность альтернативы  $X$  необходимо выделить критерии оценивания, которые представлены на рис.2.7.

Для оценки предпочтительности множества  $X$  допустимых альтернатив строится иерархия, структура которой представлена на рис.2.7.

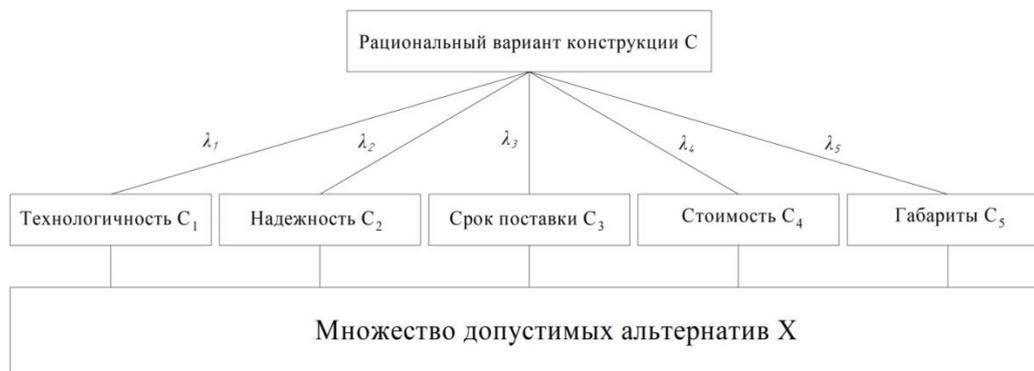


Рис. 2.7. Критерии оценки альтернатив

Главная цель – это выбор конструкции узла гидравлической станции, которая ограничивается критериями, характеризующие необходимые условия, которые влияют на выбор. Коэффициент  $\lambda$  характеризует степень отно-

сительной важности критериев, для их оценки пользуются специализированными методами, среди которых основным является метод парных сравнений [66]. Наиболее распространенный вариант МАИ предполагает, что эксперты предоставляют информацию об оценках альтернатив в форме экспертных суждений, которая предполагает относительную предпочтительность одной альтернативы над другой.

Данные критерии, которые определяют конечный результат, различные функции. Поэтому необходимо на одном из первых этапов провести ранжирование и нормализацию результатов экспертных оценок. Расположение факторов в последовательности соответствующей значимости является простым ранжированием.

Данные методы ранжирования оценок позволяют скорректировать оценки факторов. Для получения корректировочного коэффициента необходимо поделить оценки группы на сумму оценок факторов внутри группы. Главным недостатком метода является значительное число влияющих факторов в группе. Для того чтобы устранить этот недостаток, было предложено использовать комбинаторный метод ранжирования – оценка по конкретному фактору определялась, как сумма оценок группы и приведенной оценки фактора в группе:

$$V_{ij} = V_j \cdot \frac{V_j}{\sum_{i=1}^n V_{ij}} \cdot V_{ij}, \quad (2.12)$$

где  $V_{ij}$  - оценка  $i$ -го фактора  $j$ -ой группы;

$n$  – количество факторов в группе;

$V_j$  - оценка группы.

Данный способ является трудоемким при большом числе объектов и критериев, поэтому для оценки альтернатив компонентов гидравлической станции был использован метод парных сравнений. Основная идея метода заключается в создании матрицы, которая будет включать в себя сравниваемые факторы, а на их пересечении будет находиться оценка сравниваемых факторов.

Рассмотрим  $i$ -й узел гидравлической станции, тогда  $C_i(B_{i,x})$  – будет являться оценкой варианта этого узла критерию  $C_j$ , которая получена с использованием метода парных сравнений. Для определенного узла есть вариант конструкции:

$$B_i = \{A(i, R | R = 1, \dots, n)\}, \quad (2.13)$$

где  $i$  – индекс узла;

$n_i$  – число вариантов конструкций узла.

Первоначально необходимо провести парное сравнение относительных критериев, опираясь на условия основной задачи. Необходимое число критериев определяется экспертами, оно может находиться в интервале от 4 до 14. По итогу для каждого критерия необходимо определить относительный вес парного сравнения оцениваемых вариантов. Результаты парных сравнений представляются в виде матрицы:

	$B_1$	$B_2$	...	$B_j$	...	$B_n$
$B_1$	$b_{11}$	$b_{12}$	...	$b_{1j}$	...	$b_{1n}$
$B_2$	$b_{21}$	$b_{22}$	...	$b_{2j}$	...	$b_{2n}$
...	...	...	...	...	...	...
$B_j$	$b_{j1}$	$b_{j2}$	...	$b_{jj}$	...	$b_{jn}$
...	...	...	...	...	...	...
$B_n$	$b_{n1}$	$b_{n2}$	...	$b_{nj}$	...	$b_{nn}$

где  $b_{ij}$  - весовое отношение  $i$ -го фактора к  $j$ -му.

Данная матрица содержит в себе результаты парного сравнения каждого варианта конструкции. Для решения необходимо найти собственный вес критерия, который определяется собственным вектором матрицы.

В последующем необходимо провести парное сравнение весов критериев, основываясь на задаче. Для каждого критерия необходимо определить относительный вес парного сравнения оцениваемых вариантов. Решение сводится к нахождению собственных весов, которые определяются как собственный вектор матрицы:

$$Bx = \lambda x, (a - \lambda E)x = 0, \quad (2.14)$$

где  $x$  – вектор матрицы;

$E$  – единичная матрица;

$\lambda$  - собственное число матрицы.

Во избежание нулевого решения, необходимо и достаточно приравнять определитель системы к нулю:

$$\begin{vmatrix} b_{11}-\lambda & b_{12} & \dots & b_{1i} & \dots & b_{1n} \\ b_{21} & b_{22}-\lambda & \dots & b_{2i} & \dots & b_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{j1} & b_{j2} & \dots & b_{ji}-\lambda & \dots & b_{jn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{nj} & \dots & b_{nn}-\lambda \end{vmatrix} = 0 \quad (2.15)$$

Чтобы найти собственный вектор матрицы, используется метод итерационных вычислений, а определитель матрицы находится с помощью метода Гаусса.

На заключительном этапе необходимо произвести упорядочивание и ранжирование всех весов и вариантов компоновки для каждой альтернативы, полученных ранее, по матрице парных сравнений.

$$\begin{array}{c|cccc} C_i & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \hline W_i & w_1 & w_2 & \dots & w_n \end{array} \quad (2.16)$$

$$\begin{array}{c|cccc} C & C_1 & C_2 & \dots & C_n \\ \hline B_1 & v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ B_j & v_{j1} & v_{j2} & \dots & v_{jn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ B_k & v_{k1} & v_{k2} & \dots & v_{kn} \end{array} \quad (2.17)$$

где  $C_1..C_n$  – критерии;

$w_i$  – вес критериев;

$v_{ji}$  – вес вариантов конструкции узлов.

Альтернативы  $x \in X$  по  $i$ -му критерию будут иметь оценку:

$$C_i(x) = \frac{C_i(B_{i,R})}{\sum_{\lambda, x \in A_{i,R}} N_x(B_{i,x}) \cdot C_i(B_{i,x})} \quad (2.18)$$

где  $C_i(B_{i,R})$  - оценки альтернатив множества  $B_{i,R}$  по критерию  $C_i$ , полученные методом парных сравнений;

$N_x(A_{i,x})$  - число альтернатив в множестве  $B_{i,x}$ .

Критерии, которые были введены при оценке альтернатив, можно рассматривать как функции цели. Для выбора варианта конструкции узла, необходимо выбрать альтернативу с учетом функции цели. Для этого необходимо выбрать вариант, имеющий максимальное значение суммы, а для определения весов матрица 2.17 умножается на матрицу 2.16. Вариант, обладающий наибольшим весом, является предпочтительным.

## 2.8. Построение общей методики системы автоматизированного проектирования СГС

Согласно модели «черного ящика», САПР СГС, служит для преобразования входной информации в выходную (рис.2.8) [34, 97, 101].

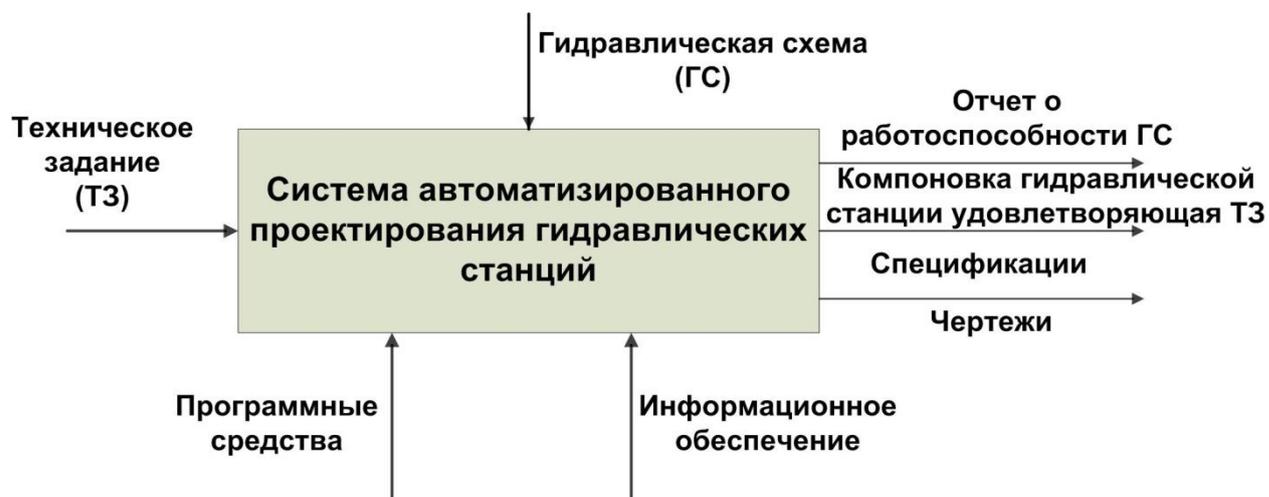


Рис. 2.8. Представление процесса автоматизированного проектирования СГС в виде модели «черного ящика»

Входной информацией данного процесса является предварительное описание объекта, которое основывается на техническом задании.

Входной информацией для системы будет являться ТЗ, которое будет определять конструктивное описание разрабатываемого объекта, а функциональное назначение системы будет определяться конструкторской документацией, графическими моделями и текстовыми документами.

САПР гидравлических станций реализуется при помощи вычислительной техники (программные средства) и информационного обеспечения. Непосредственно пользователь будет управлять всем процессом.

Для разработки САПР СГС необходимо разработать общую структуру или структурно-функциональную схему работы (рис. 2.9). Разработанная схема показывает взаимодействие всех модулей [100].



Рис. 2.9. Структурно-функциональная схема САПР СГС

Из данной схемы видно, что САПР СГС состоит из следующих модулей:

1. Управляющей модуль (служит для контроля работы всех модулей, входящих в состав САПР СГС).
2. Модуль взаимодействия с пользователем (служит для решения задач видения диалога с пользователем и ввода исходных данных полученных при составлении ТЗ).
3. Модуль построения гидравлической схемы (служит для разработки принципиальных гидравлических схем).

4. Модуль проверки работоспособности гидравлической схемы (данный модуль производит проверку теоретической работоспособности принципиальной гидравлической схемы).

5. Модуль работы с CAD-моделью (используется для работы непосредственно с системой Компас 3D, данный модуль через интерфейс контролирует работу CAD-системы).

6. Модуль подбора рациональной конструкции гидравлической станции (включает в себе математические модели и морфологическое пространство элементов гидравлической станции и при их помощи подбирает наиболее подходящую конструкцию).

7. Модуль расчета основных параметров гидравлического оборудования (служит для расчета основных параметров объемного гидропривода, которые рассчитываются на основании ТЗ).

8. Модуль генерации отчетов (служит для генерации отчетов: расчета основных параметров, теоретической работоспособности).

9. Модуль работы с СУБД (необходим для отправления запросов СУБД и получения данных и БД, данные передаются запросившему их подмодулю расчетного модуля, управление также переходит к расчетному модулю).

10. Базы данных (хранят в себе стандартные параметры элементов гидравлической станции, их изображения и экспертные оценки, полученные методом парных сравнений).

11. CAD-система Компас 3D (используется для преобразования ранее созданных трехмерных параметрических моделей и ассоциативных чертежей).

Все эти модули разрабатываются независимо друг от друга. Базы данных содержат исходные элементы гидравлической станции и их параметры основных, правила построения параметрических моделей, сведения о вспомогательных элементах, правила формирования сборочных моделей, разработанные библиотеки элементов, различные константы и др.

Техническое задание на разработку насосной гидравлической станции должно включать в себя следующие данные:

- значение номинального давления;
- значение номинального расхода;
- режимы работы;
- условия эксплуатации.

Эти данные поступают из модуля взаимодействия с пользователем и анализируются управляющим модулем. После анализа управляющей модуль передает данные в расчетный модуль, что позволяет проверить все введенные пользователем данные и рассчитать дополнительные параметры гидравлической станции.

Если нужны данные, которые хранятся в БД, управляющей модуль задает запрос на работу с СУБД. После чего управление передается модулю работы с СУБД, который передает необходимые данные расчетному модулю.

После завершения всех необходимых расчетов, полученные данные заносятся в блок расчетных данных и управление передается модулю взаимодействия с пользователем.

Для создания отчета управление принимает модуль генерации отчетов, который на основании данных из блока расчетных данных генерирует отчет.

После всех расчетов, пользователь начинает работу с модулем построения гидравлической схемы. Данный модуль позволяет создавать принципиально новые гидравлические схемы с помощью схематических обозначений гидравлических элементов согласно ГОСТ 2.781-96. При необходимости или достаточном уровне подготовке, пользователь может задавать свойства элементам, которые использует при составлении гидравлической схемы.

Законченная пользователем гидравлическая схема передается модулю проверки работоспособности. Данный модуль позволяет проанализировать полученную схему и найти несоответствия ей. Принцип проверки сводится к матрице отношений между элементами, описание матрицы приведено ранее. Закончив анализ, информация передается в модуль генерации отчетов, если

гидравлическая схема является некорректной, то пользователю предлагается решение, которое позволит исправить ошибку при построении схемы.

В модуле подбора конструкции на основании введенных исходных данных осуществляется автоматизированная компоновка конструктивных схем гидравлической станции и выбирается контракция в соответствии с выбранными критериями, которые приведены ранее.

Модуль работы с САД-системой позволяет получить 3-х мерное упрощенное изображение создаваемой гидравлической станции, которого хватает для изготовления станции и создания необходимых сопроводительных документов. В данный модуль поступают все расчетные параметры гидравлической станции, а также типоразмеры стандартных элементов из БД, которые необходимы для построения станции. Все значения стандартных элементов подбираются автоматически в зависимости от условий работы.

Задача автоматизации проектирования гидравлической станции заключается в:

- формирование исходных данных;
- расчете конструктивных параметров гидравлической станции;
- построение гидравлической схемы;
- проверке работоспособности гидравлической схемы;
- формирование 3D-сборки станции и спецификации.

Для того, чтобы решить данную задачу, был определен необходимый набор средств для автоматизированного проектирования (рис. 2.10), который включает в себя САПР гидравлических станций, БД моделей гидравлической станции, САД-системы и разработанной БД стандартных элементов, необходимых для проектирования гидравлической станции.

Процесс автоматизированного проектирования гидравлических станций осуществляется проектировщиком с помощью САПР гидравлических станций, в состав которой включены все необходимые расчетные модули. Настройка системы перед началом работы должна осуществляться экспертом.

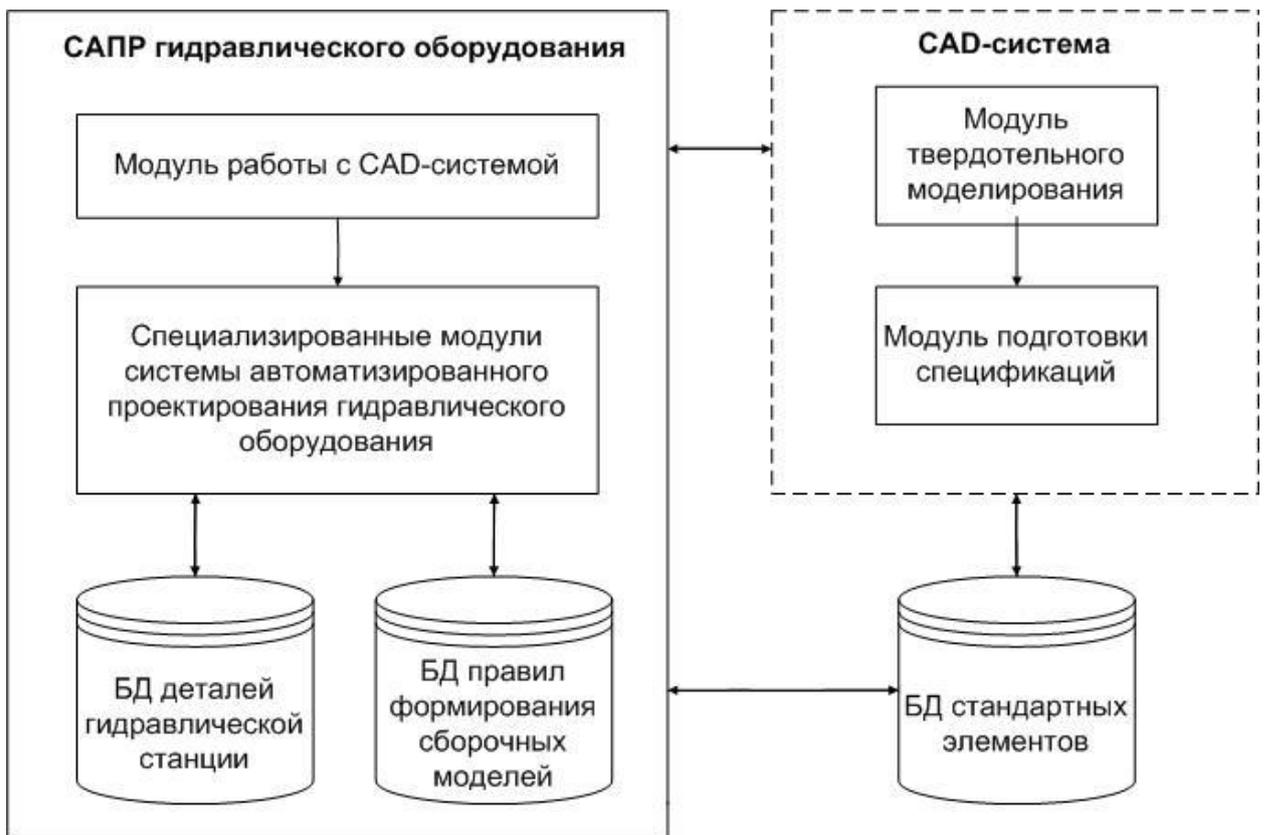


Рис. 2.10. Средства автоматизированного проектирования СГС

Информационную поддержку автоматизированного проектирования обеспечивают базы данных, которые служат для хранения необходимой в процессе проектирования информации, и библиотека твердотельных параметрических моделей стандартных изделий, при помощи которых осуществляется автоматизированное формирование средствами САД-системы твердотельной модели гидравлических станций.

Разработан следующий алгоритм автоматизированного проектирования СГС (рис.2.11). Исходными данными для проектирования, является ТЗ, которое включает в себя основные параметры гидравлической станции.

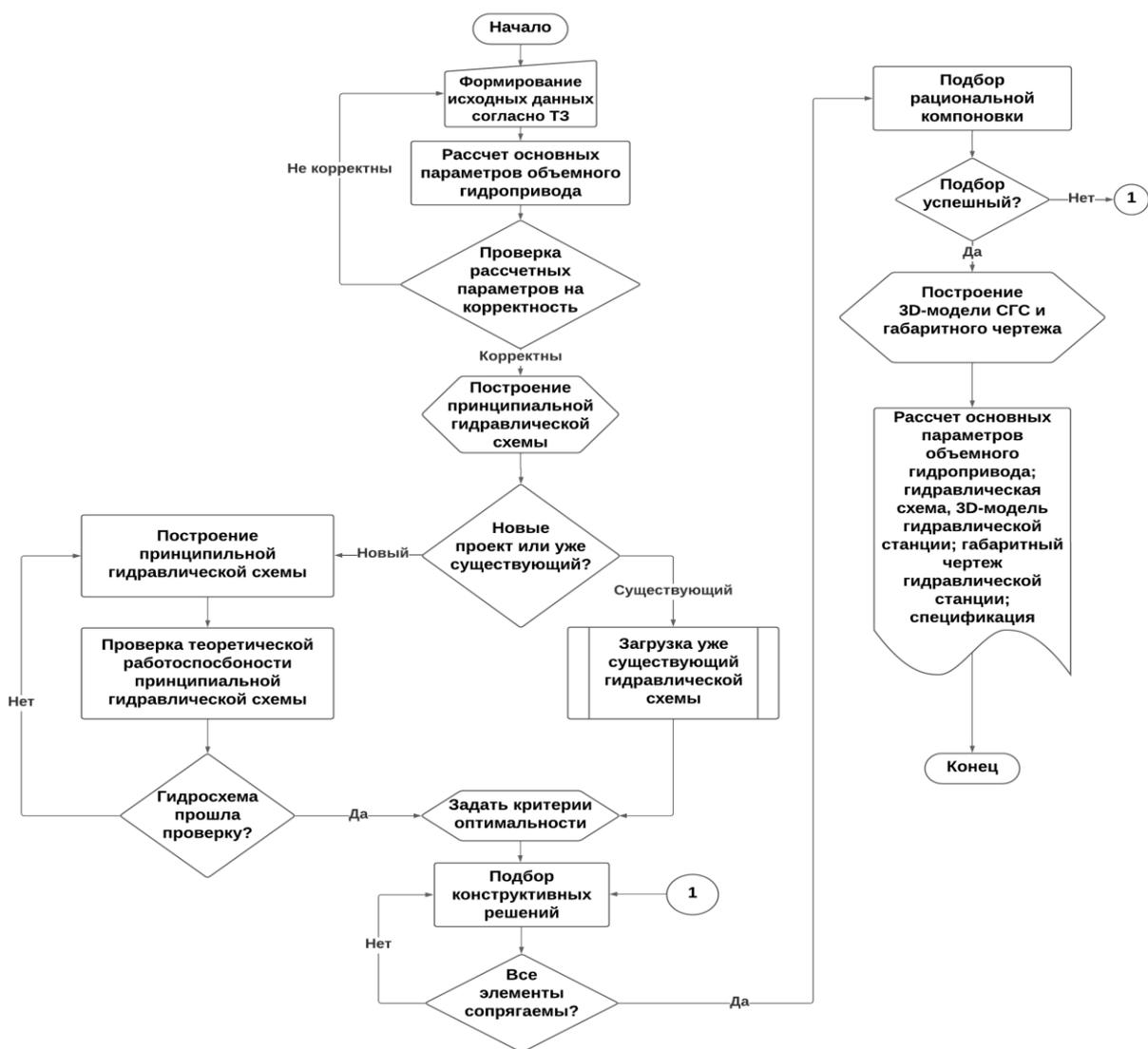


Рис. 2.11. Алгоритм автоматизации проектирования СГС

На первом этапе осуществляется расчет основных параметров СГС согласно ТЗ, если расчет проходит успешно, то действие переходит на следующей уровень, иначе необходимо пересмотреть исходные данные в ТЗ. Построение гидравлической схемы осуществляется пользователем, при создании он может указать необходимые параметры элементов, которые включены в гидравлическую схему. После построения гидравлической схемы осуществляется проверка на работоспособность, если в схеме обнаруживаются ошибки о них сообщается пользователю и даются рекомендации, которые необходимы для исправления схемы. По построенной схеме подбираются необходимые элементы гидравлической станции с оптимальными параметрами, параметры элементов, назначенные пользователем на ранних этапах, также

проверяются. Завершив подбор всех необходимых элементов пользователю предлагается построить упрощенную 3D-модель гидравлической станции. На выходе пользователь получает проверенную гидравлическую схему, упрощенную 3D-модель гидравлической станции и спецификации на производство гидравлической станции.

Подбор конструкции осуществляется на основе И/ИЛИ – дерева по параметрам и условиям эксплуатации, которые указываются в техническом задании. Основными параметрами для подбора оборудования являются: давление, расход и мощность привода. Условия эксплуатации, которые необходимо учитывать при подборе оборудования – режимы работы станции, тип управления станцией, среда в которой станция будет находиться и др.

Результаты расчета основных параметров гидравлической станции, а также гидравлическая схема и 3D-модель сохраняются в базе данных в виде отдельного проекта. В дальнейшем проект можно использовать повторно и получить необходимую документацию.

Конечным этапом разработки СГС является генерация упрощенной трехмерной сборочной модели, которая руководствуется правилами построения.

## **2.9. Алгоритмизация процедуры ввода исходных данных**

Для ввода исходных данных был разработан отдельный модуль, который представляет собой последовательное выполнение некоторых действий. Условно эти действия можно разделить:

- ввод основных характеристик гидравлической станции;
- указание условий эксплуатации станции;
- задание конкретных конструктивных решений.

Ввод основных характеристик станции, к которым относится номинальное давление  $P$ , номинальный расход  $Q$ , мощность привода  $N$ , диаметр условного прохода  $D_u$ , количество тепла, получаемое в секунду  $Qt$ , объем бака  $V$ . Также возможен расчет исполнительной подсистемы объемного гид-

ропривода, для этого необходимо ввести: диаметр поршня  $D$ , диаметр штока  $d$ , ход поршня  $H$ . Алгоритм процесса ввода данных представлен на рис.2.12.

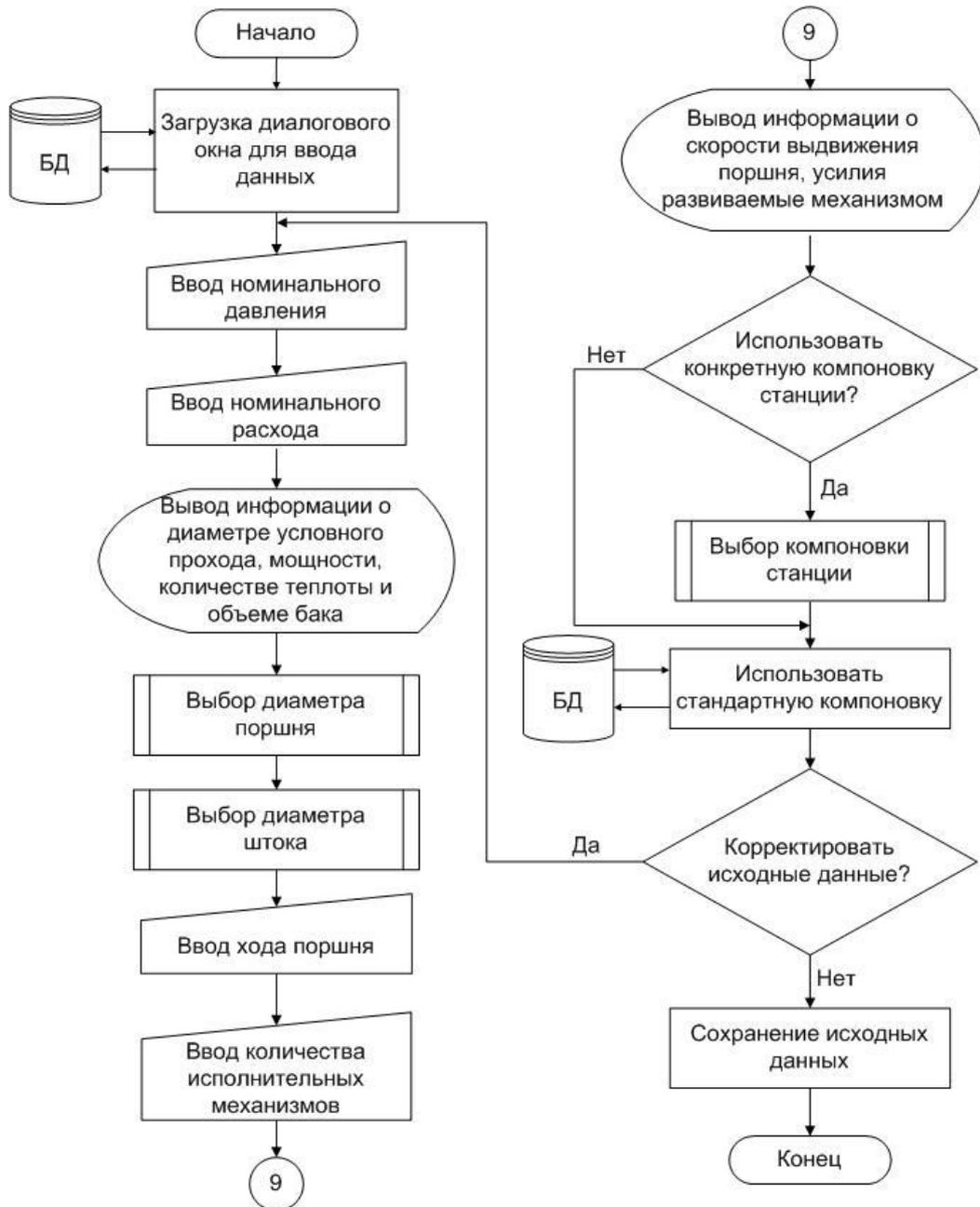


Рис.2.12. Алгоритм ввода исходных данных.

После ввода и расчета всех исходных данных, по желанию пользователя может быть выдан отчет. Основываясь на полученные данные, пользователь может приступить к разработке гидравлической схемы. Как было отмечено ранее, составляя гидравлическую схему, пользователь может накладывать определенные условия на элементы, которые использует при составлении схемы.

## 2.10. Алгоритмизация процедуры проверки теоретической работоспособности гидравлической схемы

Процедура проверки работоспособности СГС, представляет собой модуль исходной информацией, для которого служит:

- расчетные параметры гидравлической станции;
- разработанная конструктором гидравлическая схема;
- атрибуты элементов гидравлической схемы.

Расчетные параметры и разработанная конструктором гидравлическая схема принимаются на основании технического задания, а атрибуты гидравлических элементов хранятся в базе данных. Описание атрибутов гидравлических элементов дано ранее.

В основе проверки работоспособности лежит представление гидравлической схемы в виде математической модели, а именно матрицы отношений между элементами  $A(i, j)$ . Подробное описание матрицы отношений рассмотрено ранее.

В начале работы модуля (рис.2.13), инициализируется матрица отношений между элементами, которая строится на основании разработанной гидравлической схемы пользователем. После инициализации матрицы происходит цикл последовательного анализа матрицы, то есть ищутся связи между  $i$ -м и  $j$ -м элементами, если такой связи нет, то происходит проверка на конечный элемент. Результатом 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 относится к тупиковым, то происходит дальнейшая проверка, начиная с родительского элемента.

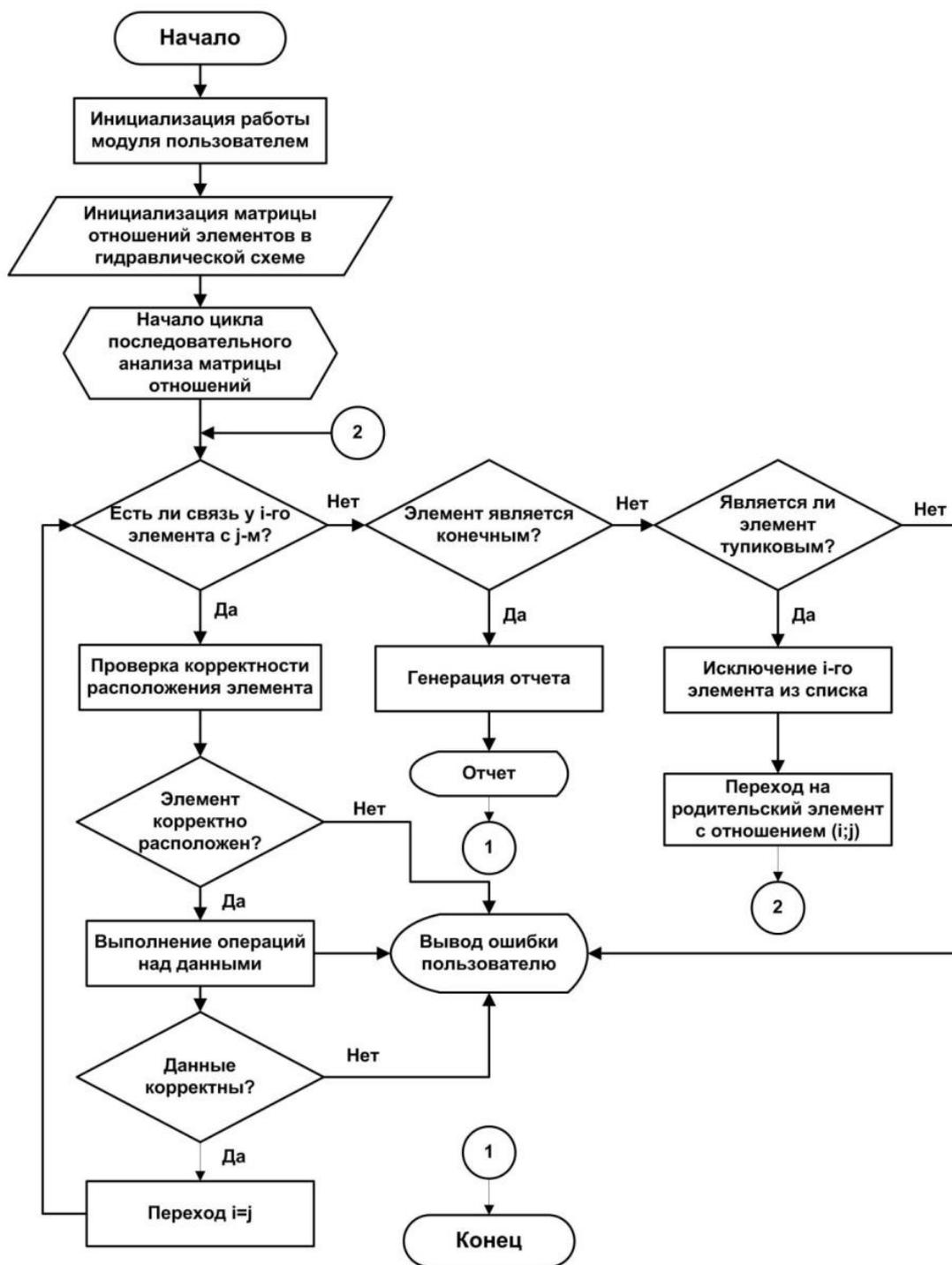


Рис.2.13. Алгоритм проверки работоспособности гидравлической схемы

При наличии связи между элементами проверяется корректность расположения элемента относительно разработанной гидравлической схемы. Если элемент расположен корректно, то происходят преобразования, которые заложены в свойствах элемента, при некорректном расположении пользователю выдается сообщения об ошибки. После всех действий  $i$ -му элементу

присваивается  $j$ -й номер, и цикл повторяется до тех пор, пока не будет найден конечный элемент.

По завершению работы модуля, пользователю выдается отчет с рекомендациями, которые могут быть использованы при корректировке гидравлической схемы или при сборке станции.

## **2.11. Методика подбора рациональной компоновки гидравлической станции**

После подбора всех компонентов входящих в состав СГС, необходимо выбрать подходящую компоновку станции, чтобы она удовлетворяла всем условиям, которые описаны в ТЗ.

Описание компоновок гидравлической станции приведено в первой главе. Было выявлено, что рациональной компоновкой гидравлической станции является компоновка «приводящий двигатель на крышке бака».

При подборе рациональной компоновки гидравлической станции, все будет сводиться к тому, чтобы скомпоновать компоненты на крышке бака, если же в ТЗ будут добавлены определенные условия работы, то компоновка будет учитывать эти условия. Для приводящих двигателей типа бензо-, пневмо- двигатели, доступен лишь один вид компоновки – «приводящий двигатель на крышке бака», поэтому при определенных условиях, необходимо будет увеличивать крышку бака.

Если в качестве приводящего двигателя используется электродвигатель, то необходимо учитывать определенные условия для компоновки, но первоначально проверяются все условия для компоновки «приводящей двигатель на крышке бака». При неудовлетворении условий данной компоновки, проверяется следующая компоновка на удовлетворения данных условий. При проверке учитывается: дополнительные условия в ТЗ, мощность двигателя, габаритные размеры гидравлических компонентов и т.д. На рисунке 2.14 представлена методика подбора рациональной компоновки гидравлической

станции в зависимости от подобранных компонентов и определенных условий.

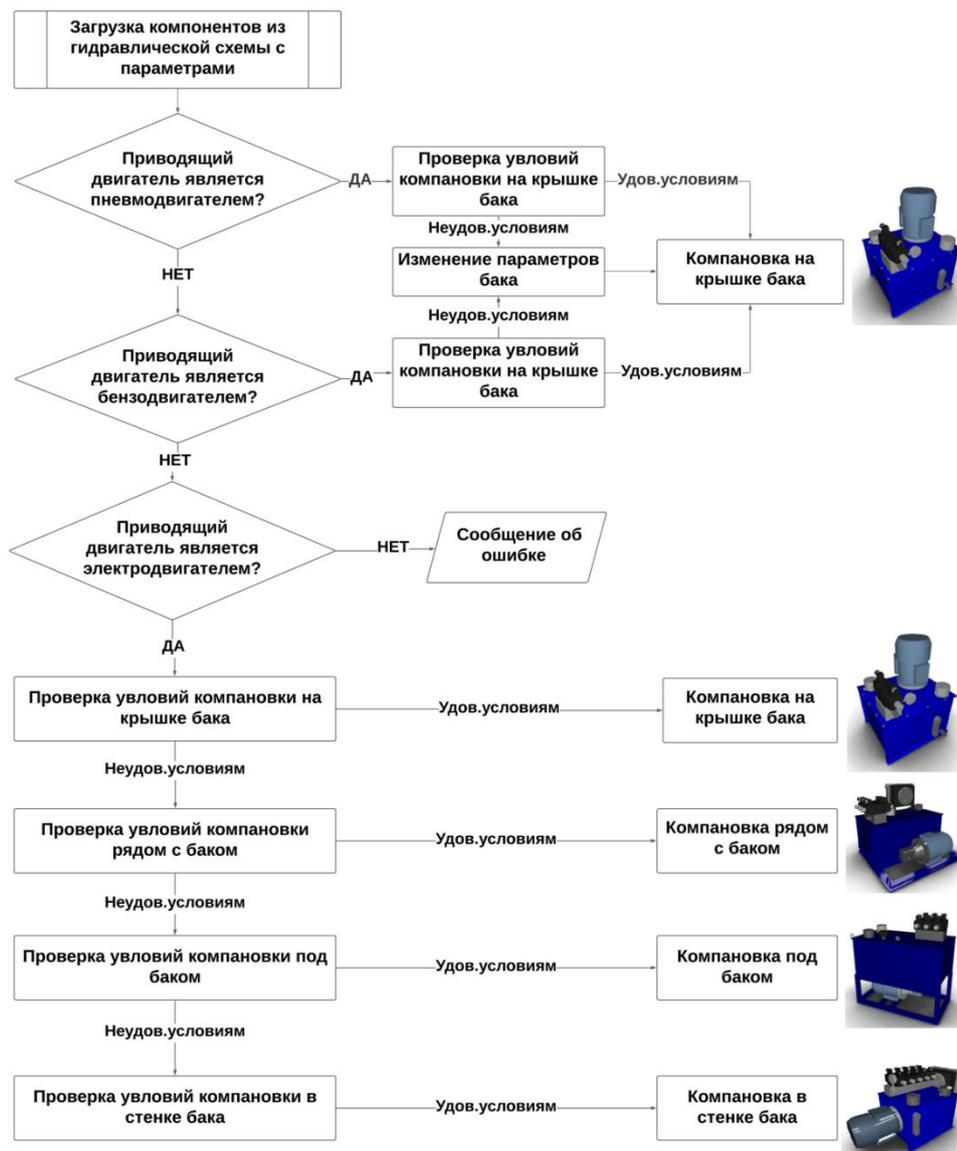


Рис.2.14 Методика подбора рациональной компоновки СГС

Если ни одна из компоновок не удовлетворяет условиям проверки, то необходимо изменить дополнительные условия в ТЗ, предъявляемые к гидравлической станции и/или изменить параметры и компоненты СГС.

### 2.13. Алгоритмы построения 3D-моделей

Чтобы сформировать параметрическую 3D-модель необходимо последовательное построение основных ее элементов. Эти элементы задаются с помощью эскизов или созданы на базе уже имеющихся элементов [24].

На первом этапе эскиз представляется лишь формой разрабатываемого элемента, что относится к практике реального проектирования. На следующих этапах на эскиз необходимо наложить взаимосвязи: размерные (значения расчетных параметров или конкретные) и геометрические (перпендикулярность, параллельность, касание, симметричность и т.п.).

Схематично последовательность построения 3D-детали компонента гидравлической станции можно представить в следующем виде (рис.2.16).

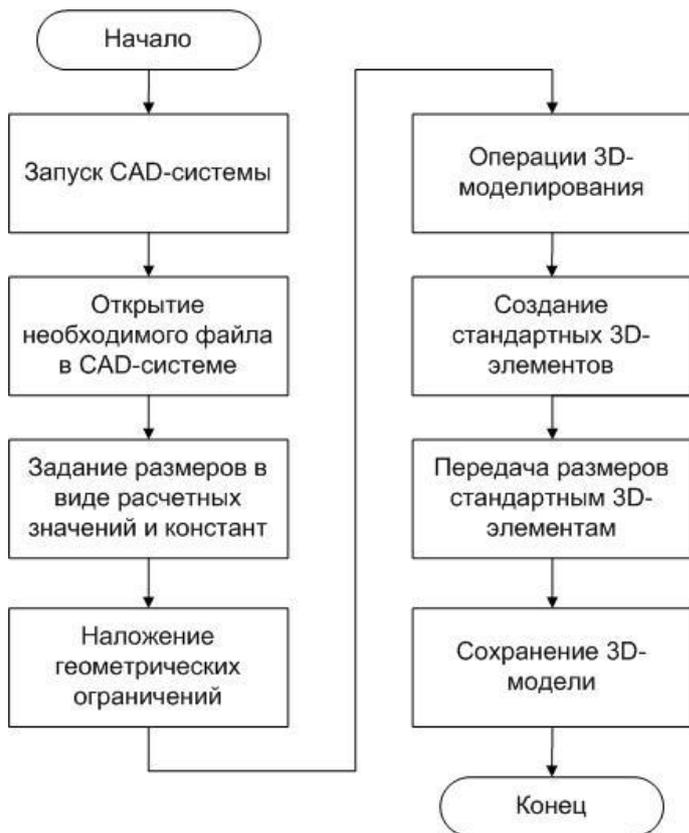


Рис.2.15 Последовательность построения 3D-модели



Рис.2.16 Последовательность построения 3D-сборки гидравлической станции.

Создав все необходимые компоненты гидравлической станции, можно получить 3D-сборку. Последовательность построения сборки гидравлической станции показан на рис.2.16.

Элементы гидравлической станции хранятся в БД в виде параметрических моделей с определенным набором параметров. При передаче расчетных параметров и констант, модель автоматически перестраивается, что позволяет избежать дополнительного наложения свойств на эскиз.

## 2.14. Выводы по второй главе

1. Представлено описание элементарно-узловых структур гидравлической станции, которые выполняют определенные функции, позволяющие создать методику выбора варианта компоновки гидравлической станции.

2. Представлена математическая модель гидравлической схемы объемного гидропривода, на основании схемы замещения основных элементов гидравлической схемы на направленный граф и матрицы отношений между этими элементами.

3. Выявлены критерии выбора вариантов конструкции основных компонентов СГС, которые необходимы создания математической модели выбора компонентов исходя из цели.

4. Предложена математическая модель выбора конструкции СГС основывающаяся на методах конструирования и анализа иерархий, оценке применимости основных конструктивных элементов, которая позволит создать алгоритмы автоматизированного проектирования гидравлических станций.

5. Разработана структурно-функциональная схема САПР СГС и описана работа и взаимодействие ее основных модулей.

6. Разработаны алгоритмы и методика автоматизированного проектирования СГС с применением САД-системы Компас 3D, позволяющая создать параметрические модели элементов гидравлической станции.

7. Разработан алгоритм проверки работоспособности гидравлической схемы с использованием схемы замещения и матрицы отношений между элементами гидравлической схемы.

8. Разработана методика и алгоритм автоматизированного расчета основных параметров СГС, необходимые для создания специализированной подсистемы расчета.

9. Разработан метод создания параметрических 3D-моделей с применением САД-системы Компас 3D, позволяющий создавать трехмерные модели элементов и упрощенную компоновку СГС.

## **ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СГС**

### **3.1. Актуальность и принципы создания систем автоматизированного проектирования**

На сегодняшний день актуальность САПР обуславливается необходимостью повышения числа проектных решений для развивающихся предприятий. Зачастую предприятия используют средства САПР не для автоматизации отдельных производственных процессов, а для оформления технической документации. Большинство систем ориентированы на широкую предметную область, такую как машиностроение, приборостроение и т.д. [6-9,53-63].

Следует помнить, что при разработке даже узкоспециализированных САПР она должна включать в себя унифицированные модули. Очевидно, что требования эффективности и универсальности противоречивы - высокоэффективной может быть только специализированная система. Однако при использовании унифицированных модулей расширяются возможности САПР и снижается время ее разработки [42,43,98].

При создании части модулей САПР гидравлических станций использовалось структурное программирование [72], смысл такого программирования заключается в разбиении задачи на несколько. Для этой цели в программировании есть понятие подпрограммы. Она включает в себя набор операторов, которые выполняют нужное действие и не зависят от других частей исходного кода. Общая структура программы разбивается на множество подпрограмм, каждая из которых отвечает за определенное действие, которое предусмотрено исходным заданием. Комбинируя эти подпрограммы, формируется итоговый алгоритм уже не из простых операторов, а из законченных блоков кода, имеющих определенную смысловую нагрузку, причем обращаться к таким блокам можно по названиям.

После выбора методики разработки необходимо проанализировать и выбрать используемое программное обеспечение, а именно, базовую систему

геометрического моделирования для разработки трехмерных моделей и конструкторской документации, язык программирования и среду разработки для написания алгоритмов работы САПР, а также СУБД для организации и работы с используемыми при проектировании базами данных [10,11].

### **3.2. Обоснование выбора используемого языка программирования**

Существует огромное количество языков программирования разных уровней, это и низкоуровневые языки, и языки высокого уровня, такие, как C++, C#, Java и др.

Все современные языки высокого уровня имеют схожие характеристики, однако могут отличаться предметными областями, в которых они используются, а также используемыми парадигмами программирования. Некоторые языки используются для написания системного программного обеспечения и драйверов, некоторые языки используются для написания прикладного программного обеспечения, написания скриптов, также существуют языки, которые, в основном, используются для написания серверных приложений.

В рамках выбора средств программирования проанализированы следующие языки:

- C/C++;
- C#;
- Object Pascal/Delphi;
- Java;
- Python.

Анализируемые языки поддерживают, в основном, такие парадигмы программирования, как императивную, декларативную и объектно-ориентированную.

Си (англ. C) — является стандартизированным процедурным языком программирования, который разрабатывался в начале 1970-х годов сотрудниками Bell Labs Кеном Томпсоном и Денисом Ритчи как развитие языка В.

Язык использовался в операционной системе UNIX.. На сегодняшний день Си является самым популярным языком для создания системного программного обеспечения и прикладных программ. В дальнейшем синтаксис языка Си стал основой для многих других языков.

Одним из последствий высокой эффективности и переносимости Си стало то, что многие компиляторы, интерпретаторы и библиотеки других языков высокого уровня часто выполнены на языке Си [76].

Си++ (англ. C++) – относится к компилируемым и строго типизированным языкам программирования. Сочетает в себе различные парадигмы программирования, но наибольшее внимание уделено поддержке объектно-ориентированного программирования [78].

С# – данный язык сочетает в себе объектно-ориентированные и аспектно-ориентированные концепции. В разработке языка принимала участие группа инженеров под руководством Андерса Хейлсберга в 1998-2001 годах [77].

Язык Delphi – разработан фирмой Borland и реализованный в пакете Borland Delphi, от которого и получил свое название. Данный язык является наследником языка Pascal с объектно-ориентированными расширениями [79].

Java – язык разработанный компанией Sun Microsystems является объектно-ориентированным, официально выпущен в 1995 году. Изначально он назывался Oak и предназначался для бытовой электроники, но со временем был переименован в Java и стал использоваться для написания приложений и серверного ПО [80].

Python – высокоуровневый язык программирования общего назначения, ориентированный на повышение производительности разработчика и читаемости кода. Синтаксис ядра Python минималистичен. В то же время стандартная библиотека включает большой объём полезных функций [81,87].

Все описанные языки программирования сравнивались по таким критериям, как поддерживаемые парадигмы программирования, типизация, использование компиляторов и интерпретаторов, управление памятью и пото-

ком вычислений, поддерживаемые типы и структуры данных и т.д. Критерии сравнения языков программирования представлены в приложении 2.

Исходя из приложения 2, можно сделать вывод о том, что все рассматриваемые языки программирования, за исключением более низкоуровневого С, обладают современными возможностями, позволяющими писать эффективные приложения.

Для написания САПР гидравлического оборудования выбран язык программирования Java, так как он имеет всё необходимое для разработки системы, имеет большое сообщество разработчиков, позволяет разрабатывать клиент-серверные и обеспечивает быстрый переход от web-приложения к desktop, наличия необходимых структура данных и стандартной библиотеки функций.

### 3.3. Обоснование выбора используемой системы управления базами данных

База данных – совокупность данных организованная с определенными правилами и поддерживаемая в памяти компьютера, которая характеризует актуальное состояние некоторой предметной области. Классификацию СУБД удобно представить в виде диаграммы [35,65,69] (рис.4.1).



Рис.3.1. Классификация СУБД.

Для выбора встраиваемой СУБД необходимо провести их анализ и сравнение. Для сравнения были выбраны следующие встраиваемые СУБД:

- Empress Embedded Database;
- Microsoft SQL Server Compact;
- Raima Database Manager Embedded;
- SQLite.

Birdstep RDM Embedded – это быстрая, кросс-платформенная СУБД, которая встроена в тысячи программ для создания прикладных баз данных на языке C. Сочетая в одной системе сетевую модель и реляционные технологии, ядро Birdstep RDM Embedded позволяет эффективно организовать и использовать информацию, независимо от сложности данных.

RDM Embedded предоставляет широкий спектр API с простым администрированием, включая Native и SQL-интерфейсы.

RDM Embedded гарантирует защиту, целостность и доступность данных благодаря функциям зеркалирования, управления транзакциями и автоматического восстановления при сбое [85].

СУБД Empress – система управления базами данных, изначально спроектированная как СУБД для встраиваемых систем реального времени [86].

Empress удовлетворяет следующим требованиям к встраиваемым СУБД:

- предсказуемое время выполнения;
- ограниченное время выполнения;
- ограниченное потребление ресурсов;
- скорость работы с «сырыми» данными;
- альтернативные абстракции данных.

Microsoft SQL Server Compact Edition (ранее назывался Microsoft SQL Server Mobile Edition) представляет собой компактную систему управления базами данных, идеально приспособленную для использования в качестве

встроенной для мобильных приложений и приложений для настольных компьютеров.

В SQL Server Compact Edition используется общая с другими выпусками SQL Server модель программирования, удобная для разработки как собственных, так и управляемых приложений [45].

SQLite – это встраиваемая библиотека, представляющая собой систему управления базами данных, в которая включает в себя много из стандарта SQL 92. Её притязанием на известность является как собственно сам движок системы, так и её интерфейс в пределах одной библиотеки, а также возможность хранить все данные в одном файле [27].

Исходя из сравнительного анализа [46,47,48] (прил.3), было принято решение, что для разработки баз данных PostgreSQL подходит лучше других систем, главным ее преимуществом является, что она свободное программное обеспечение. Программа имеет широкий набор топов данных и дополнительных операторов языка PLSQL, позволяющим эффективно работать с базами данных.

### **3.4. Информационное обеспечение системы проектирования гидравлических станций**

В рамках диссертационного исследования разработаны основы информационного обеспечения САПР СГС, которые условно можно разделить на несколько групп:

1. Библиотека параметрических стандартных элементов гидравлической станции.
2. База данных используемая для хранения информации, которая необходима в процессе проектирования гидравлической станции.
3. База данных процедур построения деталей гидравлической станции.
4. База данных изображений, необходимых для наглядного представления элементов на гидравлической схеме.

### 3.4.1. Информационное обеспечение библиотеки стандартных компонентов

Библиотека параметрических стандартных элементов гидравлической станции представлена в виде файлов САД-системы Компас 3D. Каждый файл перестраивается согласно своего типа и параметров, которые хранятся в БД.

К основным стандартным элементам гидравликой станции можно отнести: приводящей двигатель, насос, распределитель, фильтры, колокола, бак и т.д. Каждому элементу в БД хранится ряд значений, которые зависят от мощности станции, номинального давления и расхода.

Основными параметрами элемента приводящей двигатель являются:

$N$ – мощность двигателя;	$d_1$ – диаметр вала;
$n$ - число оборотов двигателя;	$b_1$ – ширина шпонки;
$I_{30}$ – общая длина двигателя;	$h_5$ – высота шпонки;
$h_{31}$ – общая высота двигателя;	$d_{24}$ - диаметр фланца;
$L_1$ - длина вала;	$d_{25}$ – посадочный диаметр;
$I_{10}$ - длина между крепежными отверстиями;	$L_{21}$ – высота фланца;
$b_{10}$ - ширина между крепежными отверстиями;	$d_{22}$ - диаметр отверстия во фланце;
$d_{10}$ - диаметр крепежных отверстий;	$d_{20}$ - диаметр отверстий на фланце;
	$h$ - высота до вала.

В таблице 4.1. представлен фрагмент БД значений элемента приводящий двигатель «Электродвигатель серии АИР».

Таблица 3.1

Параметры приводящего двигателя «Электродвигатель АИР»

<b>N</b>	<b>Маркировка</b>	<b>n</b>	<b>d24</b>	<b>d1</b>	<b>L1</b>	<b>d22</b>	<b>d20</b>	<b>L31</b>	<b>L10</b>	<b>L17</b>
0,75	АИР71В4	1500	200	19	40	12	165	45	90	7
0,75	АИР71А2	3000	200	19	40	12	165	45	90	7
1,1	АИР71В2	3000	200	19	40	12	165	45	90	7
1,5	АИР80А2	3000	200	22	50	11	165	50	100	10
2,2	АИР80В2	3000	200	22	50	12	165	50	100	10
1,1	АИР80А4	1500	200	22	50	11	165	50	100	10
1,5	АИР80В4	1500	200	22	50	12	165	50	100	10
3	АИР90L2	3000	250	24	50	14	215	56	125	10

Полная таблица «Электродвигатель АИР» в БД включает в себя типы двигателей по мощности от 0,75 кВт до 55 кВт и числу оборотов в минуту 1500-3000.

В результате передачи данных из БД в программу Компас 3D перестраивается трехмерная параметрическая модель электродвигателя типа АИР. В большинстве случаев значения параметров задаются константами, но могут задаваться и выражениями. Трехмерные параметрические модели необходимы для создания сборочной модели гидравлической станции.

Приведем процесс построения трехмерной параметрической модели приводящего двигателя модели АИР80В4. На рисунке 3.2 приведен параметрический эскиз трехмерной модели двигателя, он характеризуется двумя видами параметров: расчетные параметры и параметры модели.

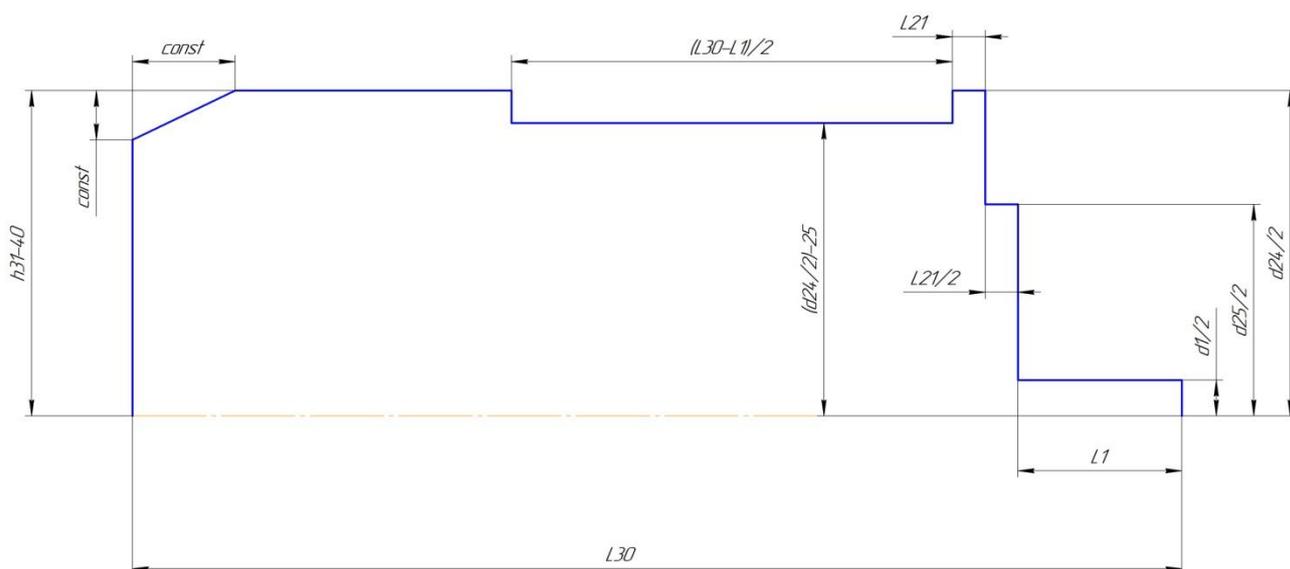


Рис.3.2. Эскиз электродвигателя.

Такие параметры, как мощность двигателя «N» и число оборотов «n» являются основными, а выше перечисленные относятся к параметрам модели. Значения этих параметров могут задаваться в виде зависимостей (рис.3.3).

Имя	Выражение	Значение	Параметр	Комме
Двигатель асинхронный АИРС80В4 У2 380 В, 50 Гц, IM2081 ТУ16-525.564-84 (Тел...				
(-) Начало координат				
(-) Эскиз:1				
v14		0,0	Исключить из расчета	
l1		46,50	Линейный размер	
l30	320,50	320,50	Линейный размер	
L21	10,0	10,0	Линейный размер	
d1		11,0	Линейный размер	
d24	100,0	100,0	Линейный размер	
d25	65,0	65,0	Линейный размер	
d90	d25-10	55,0	Линейный размер	
v105		22,0	Линейный размер	
v106	d24-5	95,0	Линейный размер	
v107		31,6667	Линейный размер	
v108		51,250	Линейный размер	
v109	l30-200	120,50	Линейный размер	
v110	d25-1	64,0	Линейный размер	
v113	d25+20	85,0	Линейный размер	
v114	L21/3	3,3333	Линейный размер	
Операция вращения:1				
v15		0,0	Исключить из расчета	
v18		360,0	Угол 1	
Эскиз:2				
Приклеить элемент выдавливания:1				
Эскиз:3				
v30		0,0	Исключить из расчета	
Приклеить элемент выдавливания:2				
v31		0,0	Исключить из расчета	
v34		161,0	Расстояние 1	
v36		0,0	Угол 1	
Эскиз:4				
v40		0,0	Исключить из расчета	

Рис.3.3. Параметры модели электродвигателя АИРС80В4.

Информационное обеспечение библиотеки стандартных элементов гидравлической станции включают в свой состав:

1. Параметрические модели в виде файлов программы Компас 3D.
2. БД с параметрами необходимыми для перестроения моделей.

Каждому элементу гидравлической станции была разработана параметрическая 3D-модель с необходимыми параметрами. Для каждого элемента была составлена таблица с индивидуальными параметрами, названием, которое соответствует типу элемента.

Независящими основными параметрами в системе будут являться номинальная мощность, номинальный расход и номинальное давление. Также исходя из перечисленных параметров определяются соответствующие размерные значения элементов.

### 3.5. Расчет основных параметров объемного гидропривода

СГС входит в подсистемы объемного гидропривода, детальное описание всех подсистем было дано в 1-й главе. Поэтому необходимо предоставить пользователю упрощенный расчет других подсистем объемного гидропривода.

В качестве основы упрощенной методики расчета исполнительной подсистемы объемного гидропривода, принимается методика, предложенная В.А. Муратовым [39]. При расчете энергообеспечивающей и направляющей подсистемы используется стандартный расчет, который представлен во многих источниках [17,20,26,74 и др.].

Упрощенная методика расчета исполнительной подсистемы будет включать в себя расчет следующих параметров:

- расчет толщины стенки;
- усилия, развиваемые механизмом;
- скорость перемещения поршня механизма.

По исходным данным, полученным из ТЗ или введенных пользователем рассчитывается:

Площади поршня  $A$  [см<sup>2</sup>]:

$$A = \frac{d_1^2 * 0.785}{100}, \quad (3.1)$$

где  $d_1$ -диаметр поршня.

Площадь поршневого штока  $A_{st}$  [см<sup>2</sup>]:

$$A_{st} = \frac{d_2^2 * 0.785}{100}, \quad (3.2)$$

где  $d_2$ -диаметр штока.

Площадь поршневого кольца  $A_k$  [см<sup>2</sup>]:

$$A_k = \frac{d_1^2 * d_2^2 * 0.785}{100}, \quad (3.3)$$

Толкающие усилия  $F_d$  [кН]:

$$F_d = \frac{d_1^2 * p * 0.785}{10000}, \quad (3.4)$$

где  $p$ -рабочее давление..

Тяговое усилие  $F_z$  [кН]:

$$F_z = \frac{d_1^2 * d_2^2 * p * 0.785}{10000}, \quad (3.5)$$

Сила  $F$  [Н]:

$$F = p * A, \quad (3.6)$$

Расчет толщины стенки гильзы. Исходя из рекомендаций, существует три формулы для расчета толщины стенки.

Для расчета тонкостенных симметричных оболочек по безмоментной теории используется формула:

$$\delta = \frac{p_n \cdot n \cdot D}{2 \cdot [\sigma_T]}, \quad (3.7)$$

где  $n$  – коэффициент запаса прочности,  $[\sigma_T]$  – предел текучести материала.

Толщина стенки толстослойного цилиндра рассчитывается по формуле Ляме, которая имеет вид:

$$\delta = \frac{D}{2} \cdot \sqrt{\frac{[\sigma_T] + p_n(1 - 2 \cdot \mu)}{[\sigma_T] - p_n(1 + \mu)} - 1}, \quad (3.8)$$

где  $\mu$  – коэффициент Пуассона.

Третья формула, более универсальна и может применяться для расчета толщины стенок различных исполнительных механизмов.

$$\delta = \frac{p_n \cdot n \cdot D}{\frac{4}{\sqrt{3}} \cdot [\sigma_T] - p_n \cdot n} \quad (3.9)$$

В настоящий момент используется другая формула (3.10), учитывающая реальные свойства используемых материалов и различного рода погрешности.

$$\delta = \frac{p_n \cdot n \cdot D}{2 \cdot ([\sigma_T] - p_n \cdot n)}, \quad (3.10)$$

где  $g$ -предел текучести трубы.

Следующей рассчитываемой характеристикой является диаметр гильзы, он рассчитывается исходя из диаметра поршня и толщины стенки по формуле:

$$D_T = D + 2 \cdot \delta \quad (3.11)$$

Диаметр гильзы также может быть подобран на основе расчетов по имеющимся стандартизованным трубам для изготовления гильз. Если невозможно подобрать гильзу, то диаметр округляется до ближайшего большего числа, кратного 5.

Скорость движения поршня  $v$  [м/сек]:

$$v = \frac{h}{t \cdot 1000}, \quad (3.12)$$

$$v = \frac{Q}{A \cdot 6}, \quad (3.13)$$

где  $h$ -ход поршня;  $t$ -время перемещения поршня;  $Q$ -требуемая подача.

Расчетная схема исполнительного механизма представлена на рис.3.4.

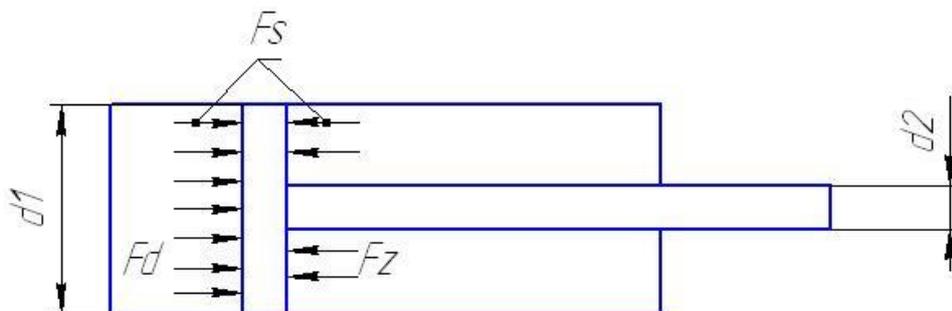


Рис.3.4. Расчетная схема исполнительного механизма

Расчет параметров энергообеспечивающей и направляющей подсистемы объемного гидропривода рекомендуется производить в два этапа:

1. Предварительный расчет основных параметров и выбор необходимых элементов гидравлической станции.
2. Проверочный расчет основных параметров и характеристик гидропривода.

На первом этапе предварительный расчет производится по схеме:

- выбор номинального давления в гидравлической системе;
- выбор номинального расхода в системе;
- выбор или разработка гидравлической схемы;
- выбор типа и марки насоса;
- выбор рабочей жидкости;
- выбор типа управления;
- предварительный расчет мощности гидропривода.

Результатом предварительного расчета является выбор основных параметров гидропривода. По этим параметрам подбираются насосы, после чего производится предварительный расчет гидравлической системы. В результате

чего подбираются диаметры условного прохода, сечения клапанов, сетки фильтров и т.д. [17].

После завершения предварительного расчета необходимо сделать проверочный расчет, который поможет уточнить основные параметры объемного гидропривода.

В данной работе расчет будет являться упрощенным, такие параметры как: потери энергии в гидросистеме и местные гидравлические потери будут не учитываться, поэтому при подборе трубопроводов будем руководствоваться диаметром номинального условного прохода  $Dy$ . Диаметр условного прохода рассчитывается по формуле 3.11 и округляется до стандартных значений.

$$Dy = 4.6 * \sqrt{Q/5}, \quad (3.14)$$

где  $Q$  - подача насоса (номинальный расход).

Также руководствуясь диаметром условного прохода и номинальным давлением, будет подбираться фильтрация на разрабатываемую гидравлическую станцию. Основным момент при подборе фильтрации является наличие напорного фильтра в магистрали давления «Р», поэтому при его наличии необходимо руководствоваться параметром номинальное давления, чтобы правильно подобрать фильтрующий элемент.

Расчет мощности привода  $N$  производится по формуле 3.12 и округляется до ближайшего большего значения двигателя.

$$N = Q * \frac{P * 1000000}{0.85} / 1000, \quad (3.15)$$

где  $Q$  - подача насоса в  $m^3/c$ ;  $P$  – номинальное давление в системе в МПа. Рассчитываемая мощность привода получается  $N$  в кВт.

По получившемуся значению можно четко понимать, какой тип привода необходимо использовать в системе. Если получившиеся значение подходит под несколько типов привода, то необходимо руководствоваться условиями эксплуатации гидравлической системы.

При подборе типа насоса, необходимо руководствоваться номинальным давлением и расходом гидравлической системы, но номинальный расход в ТЗ указывается в л/мин, а в паспорте на насос указывается размерность расхода в см<sup>3</sup>/об.

$$q = \frac{Q*60}{n*0.93} * 1000000, \quad (3.16)$$

где Q - подача насоса в м<sup>3</sup>/с; n – частота вращения двигателя в об/мин.

Объем бака необходимый для корректного функционирования гидравлической системы рассчитывается:

$$V_b = q * 3 + V_{\text{цил.}}, \quad (3.17)$$

где q - подача насоса в л/мин, V<sub>цил.</sub> – объем всех исполнительных механизмов, использующихся в гидравлической системе.

Для расчета количества теплоты, которое получает гидравлическая система в секунду, используется формула (3.15).

$$Q_t = \frac{0.25*N*1000*0.7*0.16}{10}, \text{ Дж/с}, \quad (3.18)$$

По получившемуся значению, конструктор принимает решения в необходимости использования теплообменника в гидравлической системе. Теплообменник подбирается исходя из параметров номинального давления и расхода в системе. Конструкция теплообменника принимается согласно условиям эксплуатации гидравлической станции, которые указываются в ТЗ.

### **3.4.2. Информационное обеспечение подсистемы разработки гидравлической схемы**

При создании гидравлической схемы, пользователь руководствуется схематическими обозначениями гидравлических элементов. В данной работе условное обозначение гидравлических элементов на схемах разделяется на пять больших классов: гидравлическое оборудование; сборка вентилей; гидрораспределители и соединительные линии;

Условное графическое обозначение и краткое описание элементов были представлены во второй главе. В ходе работы была разработана структура хранения элементов в БД (табл.3.2).

Таблица 3.2

Структура таблиц элементов

<b>Имя поля</b>	<b>Тип поля</b>	<b>Комментарии</b>
ID_Consol	счетчик	сквозной номер элемента
CKind	числовой	вид элемента
CName	текстовый	наименование элемента
CPict	поле объекта	изображение в форме JPEG

В каждом из классов находится более 20 типов условных графических обозначений элементов, что позволяет более детально и точно разработать гидравлическую схему будущего изделия.

### **3.4.3. Информационное обеспечение системы построения 3D-моделей элементов СГС**

БД использующаяся в системе построения 3D-моделей элементов СГС включает в себя несколько таблиц: деталь, сборка, операция, вставка объекта.

В таблице «Сборка» содержится наименование, вид и графическое изображение сборочной модели гидравлической станции (табл. 3.3).

Таблица 3.3

Состав таблицы «Сборка»

<b>Имя поля</b>	<b>Тип поля</b>	<b>Комментарии</b>
ID_Assembly	счетчик	сквозной номер сборки
AKind	числовой	вид сборки
AName	текстовый	наименование сборки
APict	поле объекта	изображение сборки в форме JPEG

В таблице «Деталь» хранится информация о задействованных деталях: тип детали, наименование, трехмерная модель детали (табл. 3.4).

Таблица 3.4

Состав таблицы «Деталь»

Имя поля	Тип поля	Комментарии
ID_Detail	счетчик	сквозной номер детали
DKind	числовой	вид детали
DName	текстовый	наименование детали
DType	числовой	тип детали
DPict	поле объекта	изображение детали в форме JPEG

В таблице «Операция» содержится информация об операциях: графическое изображения, тип операции, виды деталей (табл. 3.5).

Таблица 3.5

Состав таблицы «Операция»

Имя поля	Тип поля	Комментарии
ID_Operations	счетчик	сквозной номер операции
OAssembly	числовой	номер сборки
OperNumber	числовой	номер операции в сборке
OTypeOperat	числовой	тип операции
ODetailKind	числовой	тип детали
OValue	числовой	значение при формировании сборки
OPict	поле объекта	изображение операции в формате JPEG

Таблица «Вставка объекта» содержит информации о применении детали в операции и номер поверхности, которая используется при вставки детали в сборочную 3D-модель (табл.3.6).

Таблица 3.6

Состав таблицы «Вставка объекта»

Имя поля	Тип поля	Комментарии
PDetail	числовой	номер детали
POperat	числовой	номер операции
PNSurface	числовой	номер поверхности детали

### 3.4.4. Информационное обеспечение подсистемы наглядного изображения элементов на гидравлической схеме

База данных изображений гидравлических элементов содержит в себе наглядные изображения реальных элементов. Зачастую предприятие не может позволить себе нанимать высококвалифицированных специалистов в области разработки объемного гидропривода. Для корректной сборки гидравлической станции зачастую не достаточно предоставлять гидравлическую схему и упрощенную 3D-модель.

Для более наглядного представления на гидравлической схеме пользователь может задать изображение элемента, которое позволит быстрее сориентироваться работнику, который осуществляет сборку станции. Также данная БД позволяет расширить функционал разрабатываемой системы автоматизированного проектирования гидравлического оборудования и добавить дополнительные модули, такие как обучение персонала и тестирование персонала.

В БД храниться большое количество изображений элементов гидравлической станции, например изображение гидрораспределителей с различным типом управлений представлено рис. 3.4.



Рис.3.4. Изображения гидрораспределителей.

Графическое отображение основных элементов СГС позволяет специалистам сборочного производства сократить время на выбор компонентов, а также прилагаемая принципиальная гидравлическая схема и спецификация изделия существенно сокращают время сборки.

### 3.6 Выводы по третьей главе

1. Для реализации базового лингвистического обеспечения были проанализированы современные языки программирования высокого уровня. Так же, как и САД-системы, языки программирования отбирались по большому числу критериев. В результате был выбран язык С++, как отвечающий всем предъявляемым к языку программирования требованиям.

2. Так как разрабатываемая САПР должна использовать структурированные данные, они должны храниться в защищенном от несанкционированного доступа месте. Для хранения и доступа к данным решено было использовать встраиваемую СУБД. В ходе сравнения нескольких встраиваемых СУБД была выбрана система SQLite, которая отвечает всем требованиям, а также является свободно-распространяемой.

3. Для узкоспециализированной САПР СГС разработано информационное обеспечение, включающее в себя БД для хранения информации, используемой в процессе проектирования гидравлических станций и процедур построения 3D-моделей деталей.

4. Сформирована БД параметрических 3D-моделей элементов, которые входят в состав СГС.

5. Разработано приложение автоматизированного проектирования СГС с использованием системы трехмерного проектирования Компас 3D, позволяющей осуществлять расчеты основных параметров гидравлической станции, разрабатывать гидравлическую схему, проверять корректность гидравлической схемы и автоматически генерировать упрощенную сборочную модель гидравлической станции.

## **ГЛАВА 4. ПРИМЕНЕНИЕ РАЗРАБОТАННОЙ САПР СГС**

Принцип действия разработанной САПР СГС сводится к вводу данных технического задания в систему. После ввода исходных данных производится расчет основных параметров объемного гидропривода, на основании которых пользователь приступает к разработке гидравлической схемы. Все параметры расчета, которые были сделаны на основании исходных данных, хранятся в БД с целью их дальнейшего использования при перестроении параметрических трехмерных моделей СГС. Разработанная проектировщиком гидравлическая схема проверяется на корректность построения, если схема работоспособна, то проектировщику предлагается на выбор несколько вариантов конструкции гидравлической станции. На выходе конструктор получает гидравлическую схему, проверенную на отсутствие ошибок, спецификацию элементов и упрощенную трехмерную модель гидравлической станции.

### **4.1. Краткое описание программного комплекса**

САПР СГС представляется в виде набора специализированных модулей, которые используют средства трехмерного моделирования отечественной системы Компас 3D. В связи с этим технические и программные характеристики оборудования определяется системой Компас 3D.

Минимальные требования к техническому обеспечению:

- процессор: AMD A4-5300 Trinity (FM2, L2 1024Kb);
- оперативная память: 4 Гб;
- графический адаптер: AMD Radeon HD 6570 650Mhz;

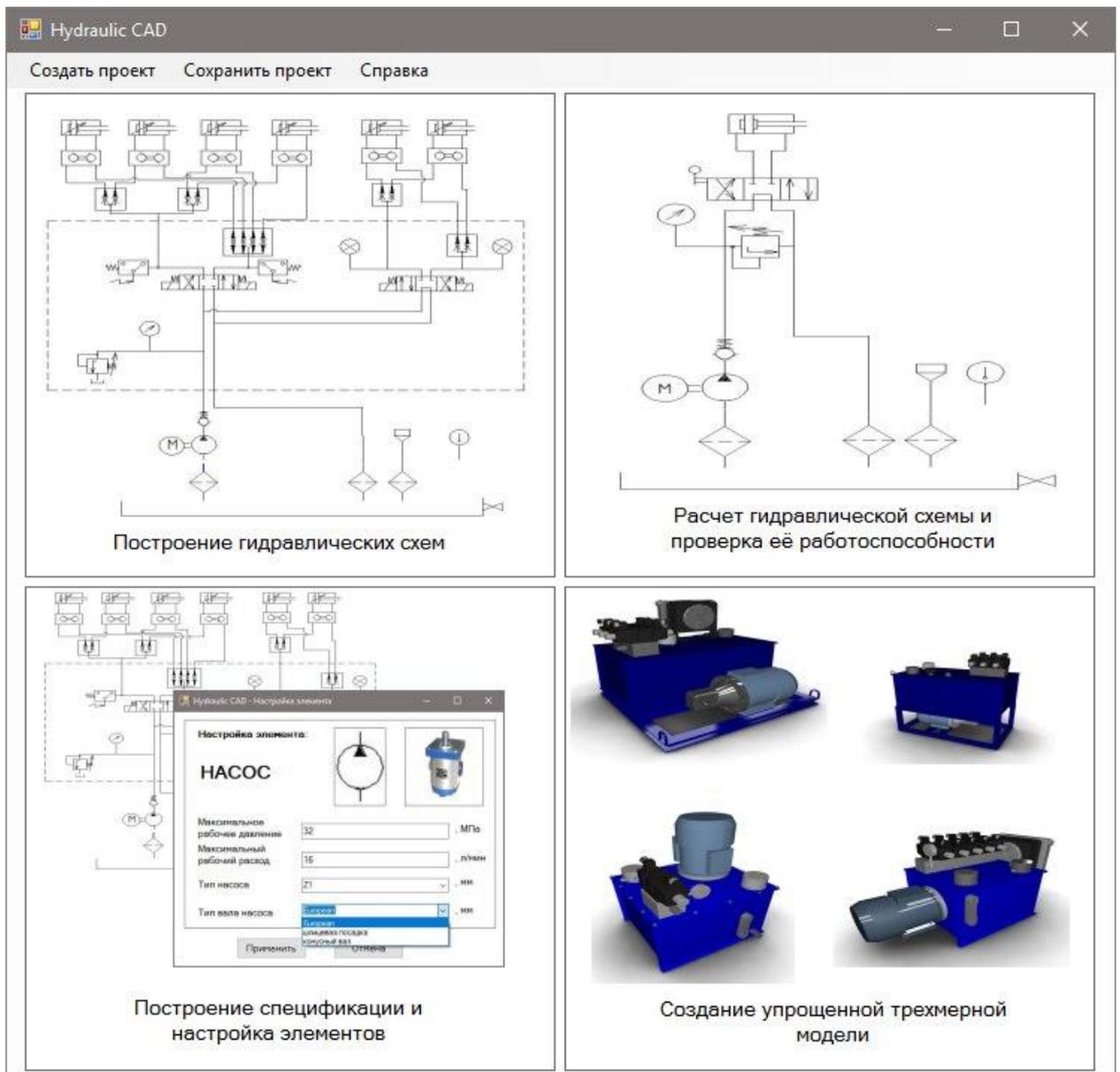


Рис.4.1.Разработанная САПР СГС

Разработанная автоматизированная система может применяться на предприятиях занимающихся производством и ремонтом гидравлического оборудования.

Так же разработанная система достаточно проста в обращении и изучении, она может использоваться для подготовки специалистов в области объемного гидропривода. Это позволит наглядно продемонстрировать возможности специалистов в области проектирования гидравлического оборудования, а также оценить их первоначальный уровень подготовки.

## 4.2. Практическая реализация САПР СГС

При запуске системы пользователю появляется окно с кратким описанием функционала системы (рис.4.1). Пользователь может создать новый проект или же загрузить ранее созданный проект, при создании нового проекта открывается рабочее поле программы (рис.4.2).

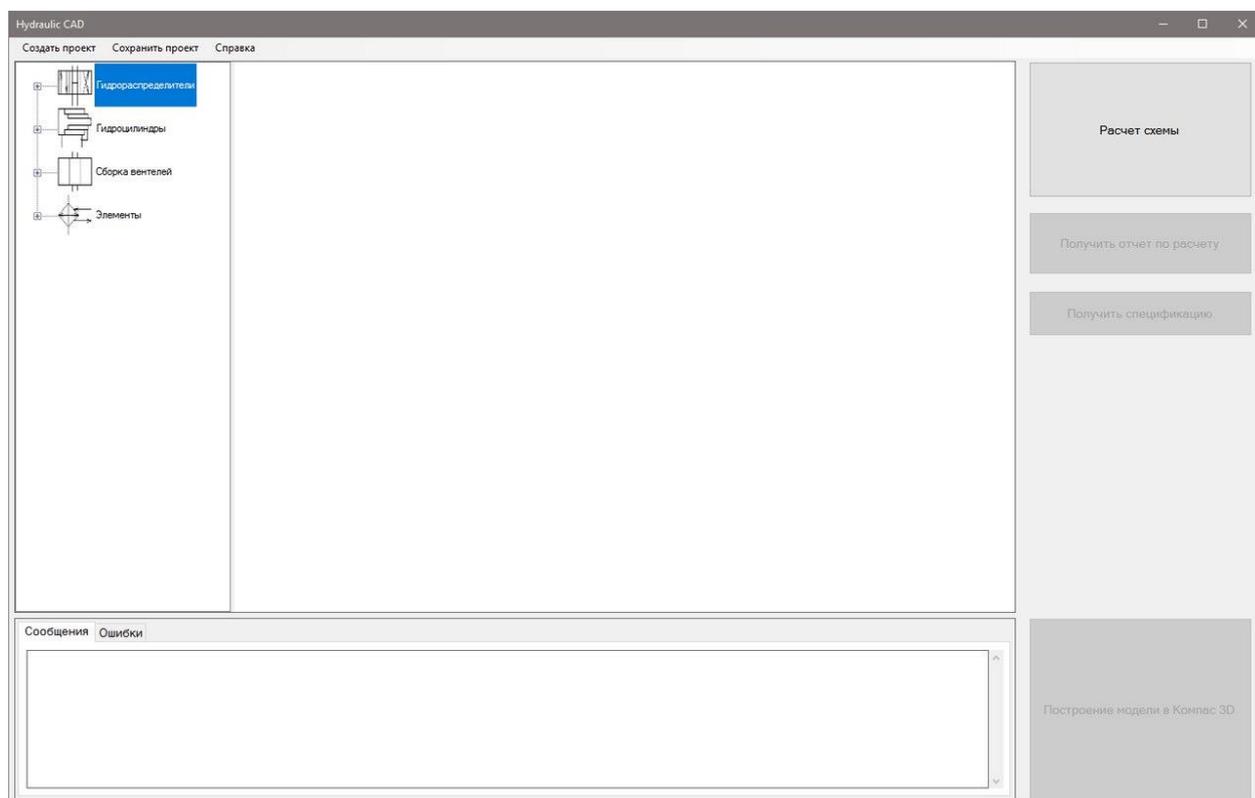


Рис. 4.2. Рабочее поле САПР СГС

В данном окне пользователь разрабатывает гидравлическую схему, основываясь на данных, которые представлены в ТЗ. Для расчета основных параметров гидравлического оборудования пользователь использует модуль расчета, в котором указывает номинальный расход, давление, количество исполнительных механизмов и их характеристики (рис.4.3).

После того, как пользователь ввел все необходимые параметры из ТЗ и указал необходимое количество исполнительных механизмов (гидроцилиндров), а также указал их параметры, ему предоставляется расчет основных параметров гидравлической станции, на основании которого пользователь может начинать разрабатывать гидравлическую схему.

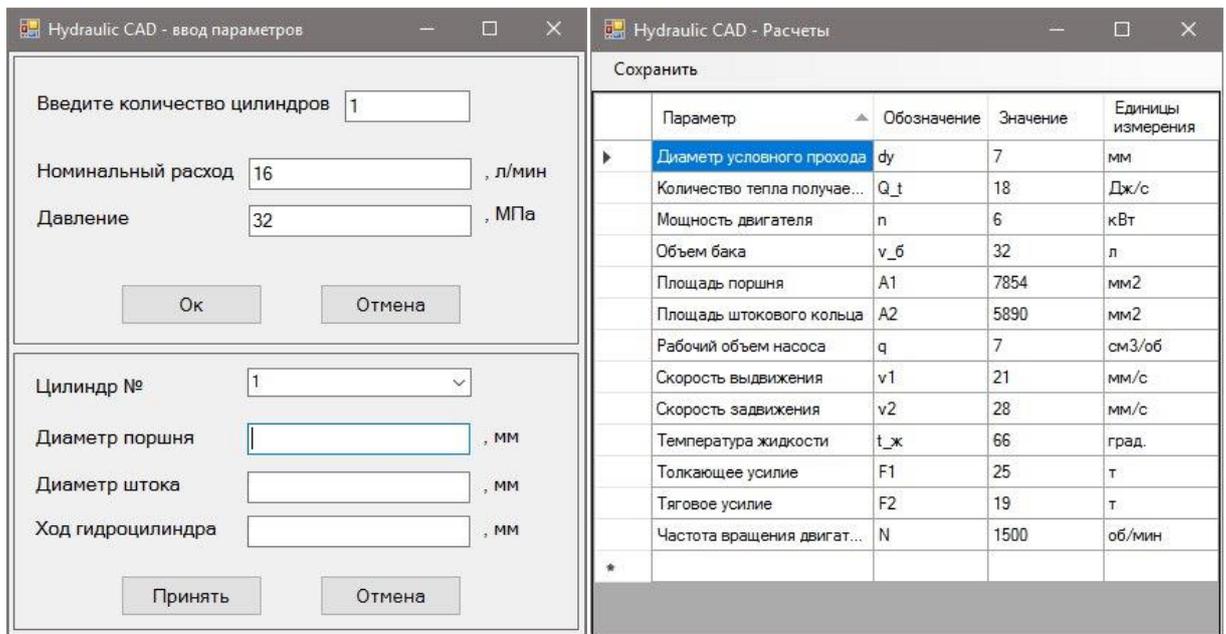


Рис.4.3. Интерфейс ввода параметров и отчета.

Для разработки гидравлической схемы пользователь использует условные графические обозначения элементов согласно ГОСТ 2.781-96. Для того чтобы включить элемент в схему его необходимо выбрать в одном из типов и перетащить на рабочее поле. После добавления всех необходимых элементов их необходимо соединить между собой (рис.4.4).

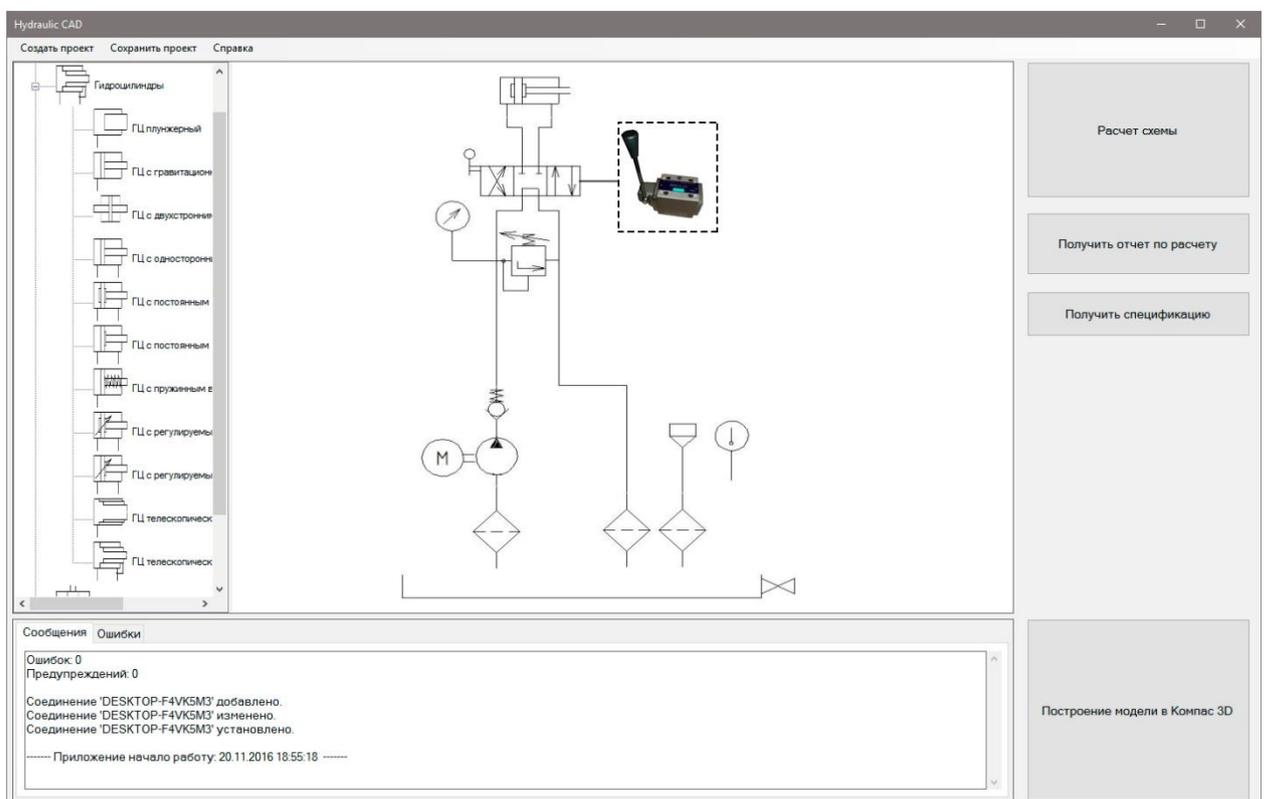


Рис.4.4. Разработанная гидравлическая схема

После построения гидравлической схемы, пользователю предлагается ввести необходимые параметры элементов, которые используются в схеме (рис.4.5). Это необходимо для проверочного расчета параметров станции, а также для подбора конструкции. Если пользователь не вводит параметры элементов самостоятельно, то им присваиваются первоначальные расчетные значения.

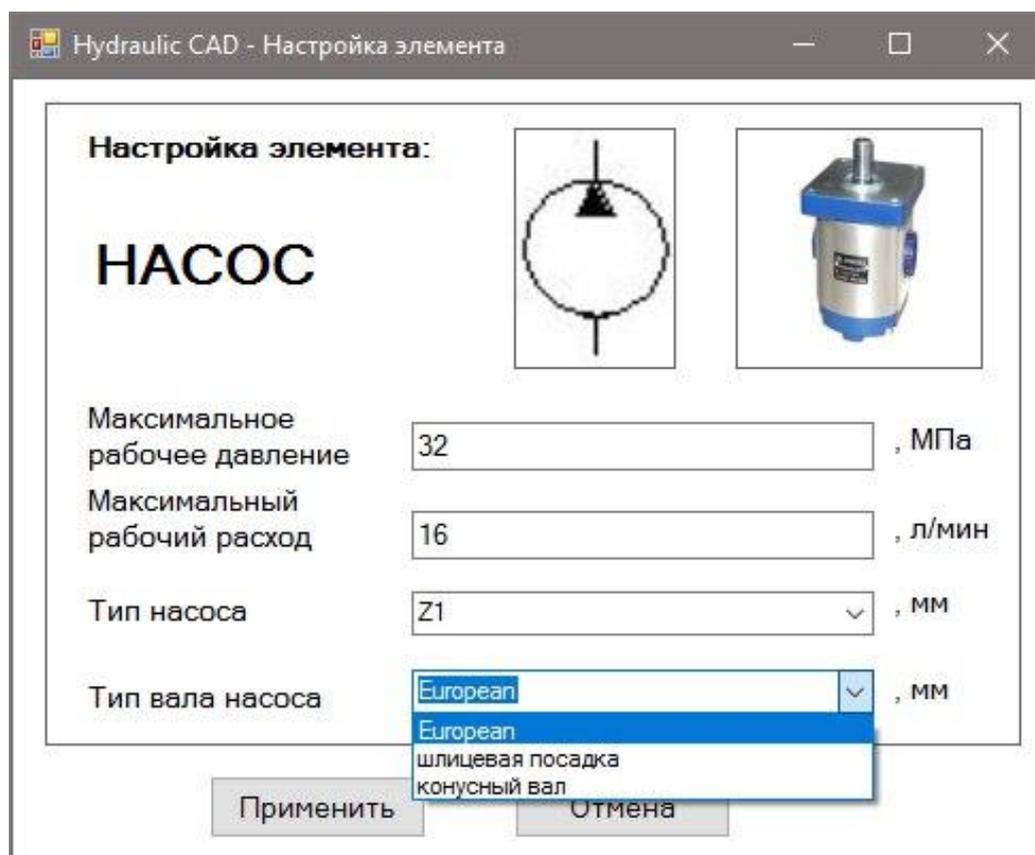


Рис.4.5. Настройка элемента «насос»

Закончив настройку элементов станции, необходимо провести проверочный расчет параметров, а также корректность построения гидравлической схемы. Если при настройке гидравлических элементов, пользователь некорректно ввел данные и/или ввел данные, которые не соответствуют первоначальному расчету, то будет выдано предупреждение с рекомендацией по его устранению (рис.4.6.). Если разработанная гидравлическая схема некорректна, то будет выдана ошибка и причина этой ошибки, дальнейшее использование программы возможно только при исправлении данной ошибки.

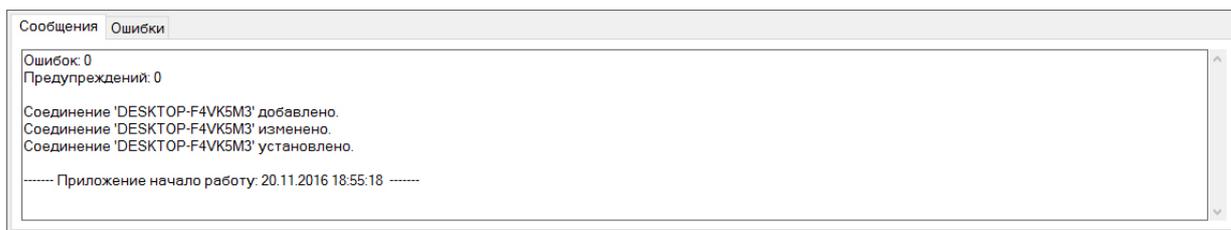


Рис.4.6. Окно вывода ошибок и предупреждений

Также одной из функций программы является возможность подсвечивать реальное изображение гидравлического элемента по его условному графическому обозначению (рис.5.4). Эта функция позволяет обучать неопытных специалистов, а также наглядно представлять, как будет выглядеть той или иной элемент гидравлической схемы.

Проведя все необходимые проверки, пользователю предоставляется возможность посмотреть спецификацию на разрабатываемую гидравлическую станцию, которая включает в себя элементы, а также описание параметров этих элементов (рис.4.7).

	Наименование	Количество	Примечание
▶	Бак	1	63 л.
	Фильтр всасывающий	1	
	Фильтр сливной	1	
	Заливная горловина	1	
	Термометр-указатель...	1	
	Кран сливной	1	
	Электродвигатель	1	1,5кВт
	Насос	1	0,8см3/об
	Обратный клапан	1	
	Клапан предохраните...	1	
	Гидрораспределитель	1	70 МПа
	Манометр	1	Схема 64-4/3
	Гидроцилиндр	1	
*			

Рис.4.7. Модуль спецификации

Заключительным этапом является возможность построения упрощенной трехмерной модели гидравлической станции по разработанной гидравлической

схеме. Пользователю предлагается на выбор четыре самых распространенных варианта конструкции станции (рис.4.8), выбрав один из них пользователь переходит в САД-систему Компас 3D, где ему предоставляется возможность работы с упрощенной трехмерной моделью.

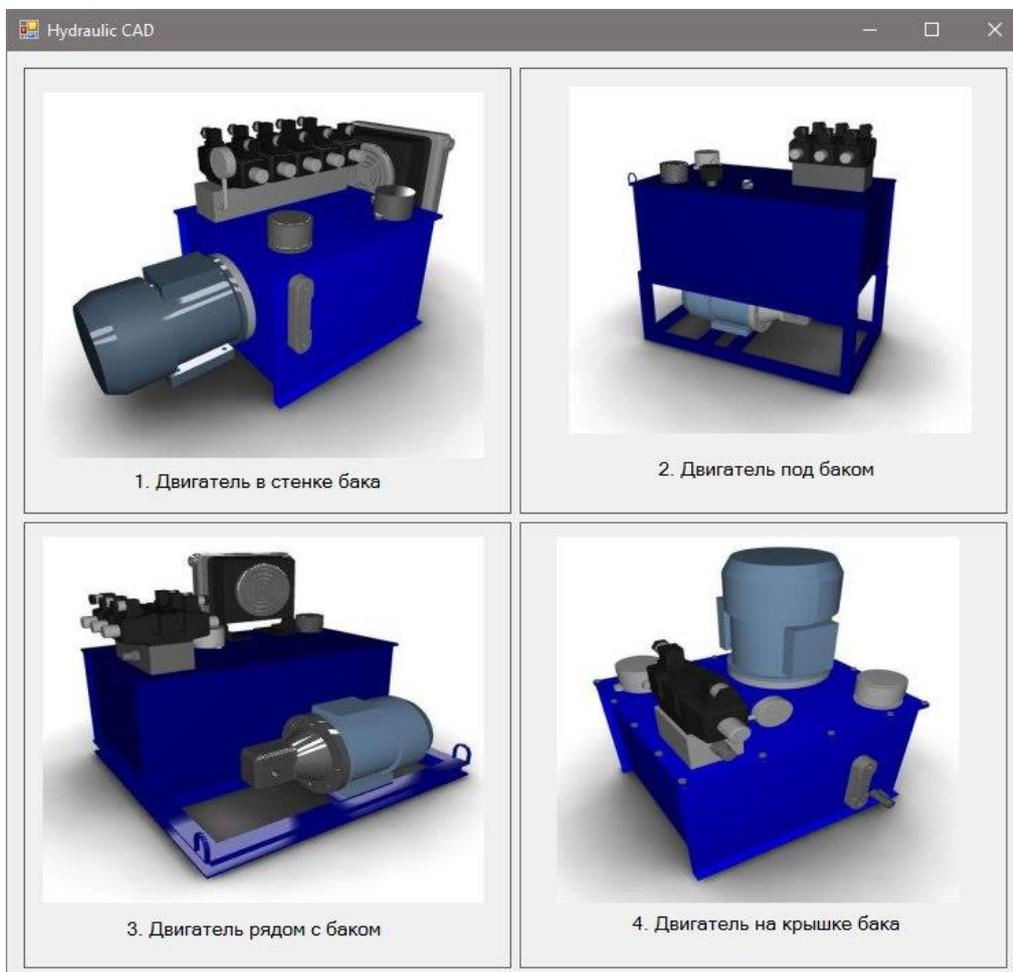


Рис. 4.8. Возможные варианты компоновки

Если при выборе пользователь отдаст свое предпочтение варианту, которые по техническим причинам не может быть реализован, то ему будет выведено сообщение с предупреждением, для того чтобы он выбрал наиболее подходящий вариант конструкции станции.

Построение трехмерной модели специализированной гидравлической станции (рис.4.9) использует метод выбора конструкции, в котором элементы станции подбираются с использованием экспертных оценок и парных сравнений. Эта возможность позволяет существенно сократить габаритные размеры станции и использовать наиболее распространенные конструкции.

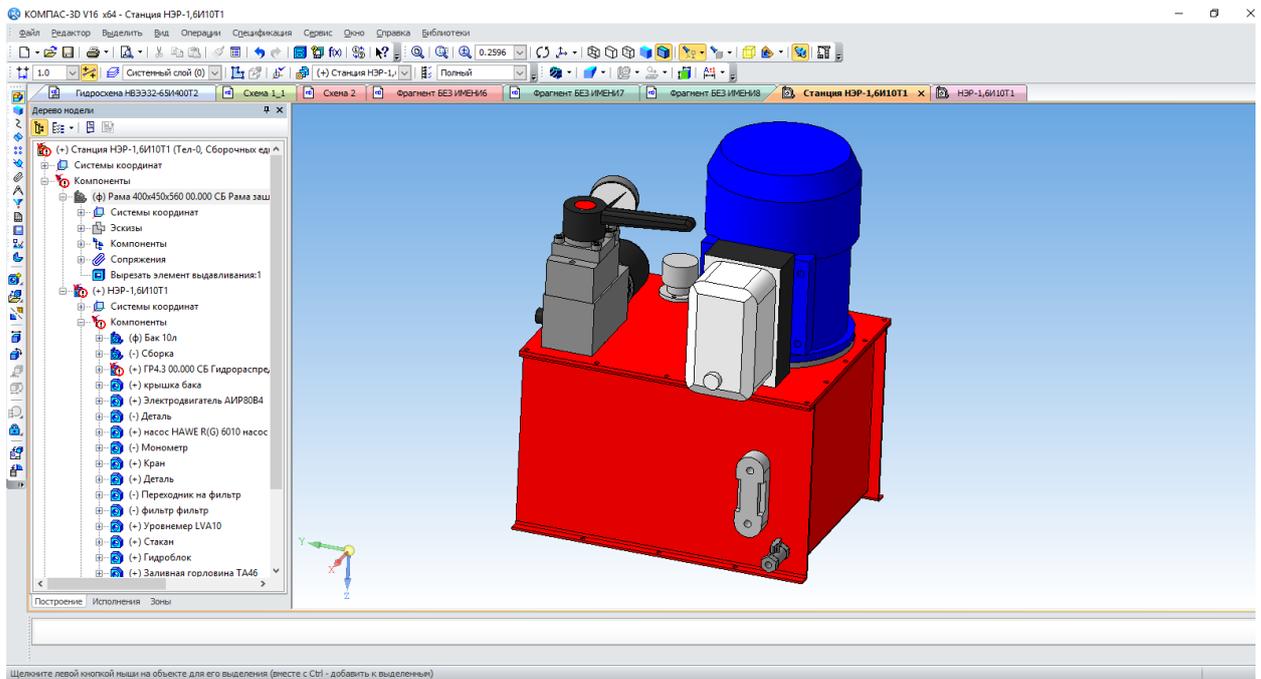


Рис.4.9. Упрощенная трехмерная модель станции

Маркировка гидравлических станций осуществляется на основании ТУ 4145-001-86030163-2008. Настоящие технические условия распространяются на станции насосные гидравлические с электро-, бензо-, пневмоприводом, предназначенные для обеспечения гидравлической энергией одного или нескольких исполнительных гидроустройств - промышленного гидравлического инструмента высокого давления : домкраты, гайковерты и др., применяемых при проведении сборочных работ, монтажно-демонтажных и ремонтных работ в промышленности, строительстве, на транспорте и т.п.

Условное обозначение станций насосных гидравлических производится согласно следующей структурной схемы:

Таблица 4.1

Наименование гидравлической станции.

1	2	3	4	5		6	7	8	9	10	11
<b>X</b>	<b>H</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	-	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>XX</b>

1) Исполнение:

1 - однопоточное исполнение (применяется по умолчанию и не заполняется);

2 - двухпоточное исполнение (два независимых напорных выхода)

2) Тип изделия:

Н - станция насосная гидравлическая.

3) Тип двигателя:

Э - электродвигатель;

ВЭ - электродвигатель во взрывозащищенном исполнении;

Б - бензодвигатель;

Г - гидропривод;

П - пневмопривод.

4) Вид управления гидрораспределителем:

А - электромагнитное автоматическое;

Р - ручное;

Э - электромагнитное дистанционное ручное.

5) Номинальное давление, МПа:

Номинальное давление по ГОСТ 12445, (по умолчанию -70 МПа не заполняется).

6) Подача при номинальном давлении, л/мин:

Подача при номинальном давлении по ГОСТ 13825-80.

7) Тип запорно-распределительных устройств (ЗРУ) управления станцией насосной:

А - ручной разгрузочный кран (выдвижение-невозврат);

И - 3-х позиционный распределитель (выдвижение-удержание-возврат);

Г - 2-х позиционный распределитель (выдвижение-возврат);

ДД - два (3 и более Д4Д) 3-х позиционных распределителей для нескольких исполнительных гидроустройств (рабочий ход-удержание-возврат).

8) Объем бака, л:

Объем бака по ГОСТ 12448.

9) Характеристика исполнения двигателя:

Т - электродвигатель переменного тока с напряжением питания 380 В, трехфазный, 50 Гц;

Ф - электродвигатель переменного тока с напряжением питания 220 В, однофазный, 50 Гц.

10) Число ступеней насоса:

1 - одноступенчатый насос,

2 - двухступенчатый насос.

11) Дополнительные опции:

Т - термометр;

М - манометр;

Ц - цифровой манометр;

Ш - штепсельный разъем вилка-розетка;

К - колеса на баке;

З - защитный каркас;

С - складывающиеся ручки на баке для переноса;

Ч - частотное регулирование электродвигателя;

П - подогрев рабочей жидкости;

О - охлаждение рабочей жидкости;

Н - педаль ножного управления;

Р - управление по радиоканалу;

Б2 (Б3,Б4) - бонки коллекторные для параллельного подключения 2-х (3-х, 4-х)

гидроустройств, работающих одновременно,

24В - коробка и пульт управления на напряжение 24 В.

Пример условного обозначения станции насосной гидравлической: НЭА-1,6А60Т1 МК ТУ 4145-001-92473858-2008, где:

НЭА - станция насосная гидравлическая с приводом от электродвигателя с электромагнитным автоматическим управлением гидрораспределителем,

Номинальное давление, МПа - 70 (по умолчанию не указывается),  
1,6 - подача, л/мин,  
А - ручной разгрузочный кран,  
60 - полезный объем бака, л,  
Т - электродвигатель переменного тока с напряжением питания 380 В,  
трехфазный, 50 Гц,  
1 - одноступенчатый насос,  
МК - манометр, колеса на баке.

### **4.3. Оценка технико-экономической эффективности САПР СГС**

Оценка эффективности любых интеллектуальных систем является очень трудоемкой задачей, как правило, данная задача сводится к сравнительной характеристике уже существующих систем и разработанной. Применительно к САПР можно выделить несколько источников экономической эффективности:

- увеличение проектных решений;
- повышения качества технической документации, а также непосредственно выпускаемых изделий;
- сокращения числа ошибок на первых этапах проектирования изделия.

Для определения эффективности, как правило, разработанную систему сравнивают с некоторыми базовыми вариантами. Для сравнения будем использоваться два базовых варианта традиционное и автоматизированное проектирование СГС.

При автоматизированном проектировании СГС снижается трудоемкость, а полная экономическая эффективность будет складываться из нескольких факторов, таких как себестоимость продукции и сокращение сроков производства. Источниками повышения экономической эффективности узкоспециализированной САПР СГС будут являться:

- 1. Рост производительности труда** обеспечивается за счет:

- Отсутствия этапа ручного расчета основных конструкционных параметров гидравлических станций. Как показывает практика, для выполнения расчетов в неавтоматизированном режиме конструктор тратит около 60% от проектирования.

- Существенного уменьшения ручного труда или полное его исключение при создании 3D-моделей и оформлении конструкторской документации изделия.

- Освобождения квалифицированных работников от нетворческого труда.

**2. Сокращение сроков подготовки и производства изделий** обеспечивается за счет:

- Ускорения разработки технической документации.

- Сокращение цикла технологической подготовки производства.

Разработанная система автоматизированного проектирования гидравлического оборудования успешно внедрена на предприятиях ООО «Борокс-Гидравлика», ООО «НПО» «Гидросфера» (приложение 5-6).

#### **4.4. Эффект от внедрения САПР СГС на промышленном предприятии**

В конце 2019 года САПР «HydraulicsCAD» была внедрена на промышленном предприятии и зарекомендовала себя с лучшей стороны. Сегодня можно четко показать эффективность автоматизации производства на примере данного предприятия. Проанализируем несколько факторов, таких как время проектирования, количество выпускаемой продукции, количество заказчиков и один из самых главных показателей доходы от реализации. Сравнительный анализ проведем, начиная с 2019 года, у нас будут результаты до внедрения программы и включая 2023 год.

Самым явным и быстро оценивающимся параметром будет являться время проектирования специализированной гидравлической станции. До внедрения САПР «HydraulicsCAD» конструктору необходимо было проделать ряд действий, чтобы получить конечный результат, просто перечислим их:

1. Получена заявка на разработку.
2. Уточнение необходимых параметров.
3. Разработка принципиальной гидравлической схемы.
4. Согласование с заказчиком гидравлической схемы.
5. Подбор всех необходимых комплектующих.
6. Создание 3D- модели и подготовка технической документации.

Перечисленные этапы занимали в среднем от 10-16 часов работы конструктора, что не позволяло брать другие заявки. Теперь же данные этапы взяла на себя САПР «HydraulicsCAD», в которой менеджер в течение часа, а иногда и намного быстрее, если подобный проект уже был создан, может согласовать с заказчиком все моменты и передать конструктору уже готовый комплект технической документации, который просто необходимо проверить и убедиться в его достоверности.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что время на проектирование сократилось в несколько раз, но данный показатель не может в полной мере показать эффективность автоматизации предприятия. Исходя из этого, нужно брать большое количество заказов, потому что есть свободное время, которое необходимо использовать для увеличения главного показателя эффективности – доход от реализации.

На рост дохода от реализации влияет много факторов, которые в совокупности можно свести к двум: количество выпускаемой продукции и количество контрагентов. В таблицах 4.2 и 4.3 приведены данные показатели по годам [93].

Таблица 4.2

Количество выпускаемых изделий.

Год	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>	<b>2022</b>	<b>2023</b>
Количество, шт.	734	1 012	1 186	2 640	2 742
Изменения	-	<b>37 %</b>	<b>17 %</b>	<b>122 %</b>	<b>3,8%</b>
<b><i>Изменения за 4 года составили 273.6 %</i></b>					

Таблица 4.3

## Количество контрагентов

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

Исходя из данных показателей, можно сделать выводы об эффективности работы, как менеджмента, так и производства в целом. Освободившее время от проектирования пошло на пользу организации, и она сумела правильно им распорядиться и увеличить свои показатели. Также данные изменения коснулись не только выпускаемой продукции, но еще и одного немаловажного показателя – заработная плата рабочих, которая по некоторым должностям выросла на **87%** за период 2019-2024 года.

Согласно предоставленным данным все показатели растут, но необходимо понимать, как изменяется главный показатель предприятия – доход от реализации. Данные о реализации предприятия ООО «Борокс Гидравлика» попадают под требования о неразглашении, поэтому для сравнения этого показателя примем условно первоначальный 2019 год за переменную **Н-1 млн. руб.**, тогда сравнения по годам будет выглядеть следующим образом (табл. 4.4) [93].

Таблица 4.4

## 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%
<i>Изменения за 4 года составили 115 %</i>					

Сегодня современные информационные технологии позволяют существенно облегчить работу любого предприятия. В наше время в сфере продаж ведется обработка большого количества информации о комплектующих, поставщиках, заказах и т.д. Использование модулей или надстроек на уже существующие программные продукты позволяет увеличить эффективность работы предприятия, что влечет за собой увеличение прибыли и уменьшение затрат на разработку проекта.

## **4.5. Выводы к четвертой главе**

1. Описаны требования к техническому обеспечению для нормальной работы САПР гидравлических станций, а также представлен порядок разработки гидравлической станции в САПР.

2. Разработана САПР гидравлических станций, которая позволяет осуществлять проектирование гидравлических станций в автоматизированном режиме, позволяет существенно сократить время подготовки технической документации и повысить качество проектных решений.

3. Проведен технико-экономический анализ эффективности от использования САПР гидравлических станций, данная оценка показала безубыточность САПР гидравлических станций.

4. В результате внедрения САПР СГС на промышленное предприятие сократилось время проектирования СГС в 3 раза, что увеличило количество проектных решений на 273%, а также позволило увеличить заработную плату работников на 83%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа выполнена на кафедре «Компьютерные технологии и системы» Брянского государственного технического университета.

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 подходов морфологического анализа и синтеза и метода анализа иерархий, которая представляется И/ИЛИ деревом, компьютерная реализация которой позволяет повысить эффективность автоматизации за счет сокращения доли рутинных работ.

4. Разработаны необходимые виды обеспечения 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 преобразова-

ния которой получается бинарная матрица отношений между элементами схемы.

6. Предложена методика выбора рациональной конструкции СГС на основе морфологического анализа и синтеза множества аналогов и протопопов, 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. 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.

10. 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 открыла новые свойства данной системы, что существенно сократила рутинную работу проектировщика.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 16516-80 Гидроприводы объемные, пневмоприводы и смазочные системы. Условные проходы. – Взамен ГОСТ 16516-70; введ. 01.07.1980. – Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации ; М. : Изд-во стандартов, 2009. – 4 с.
2. ГОСТ 17752-81 Гидропривод объёмный и пневмопривод. Термины и определения.
3. ГОСТ 19.101-77 Единая система программной документации. Виды программ и программных документов. Введ. 1980-01-01. – М. : Изд-во стандартов, сор. 1977. – 4 с.
4. ГОСТ 19.201-78 Единая система программной документации. Техническое задание. Требования к содержанию и оформлению. Введ. 1980-01-01. – М. : Изд-во стандартов, сор. 1978. – 4 с.
5. ГОСТ 19.701-90 Единая система программной документации. Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения. Введ. 1992-01-01. – М. : Изд-во стандартов, сор. 1990. – 24 с.
6. ГОСТ 23501.101-87 Системы автоматизированного проектирования. Основные положения. Введ. 1988-07-01. – М. : Изд-во стандартов, сор. 1987. – 11 с.
7. ГОСТ 34.003-90 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения. Введ. 1992-01-01. – М. : Изд-во стандартов, сор. 1990. – 14 с.
8. ГОСТ 34.601-90 Автоматизированные системы. Стадии их создания.
9. ГОСТ 34.601-90 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Стадии создания. Введ. 1992-01-01. – М. : Изд-во стандартов, сор. 1990. – 6 с.
10. ГОСТ 34.603-92 Информационная технология. Виды испытаний автоматизированных систем. Введ. 1993-01-01. – М. : Изд-во стандартов, сор. 1992. – 6 с.

11. ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93 Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководства по их применению. Введ. 1994-07-01. – М. : Изд-во стандартов, сор. 1993. – 26 с.

12. Аверченков, В.И. Автоматизация проектирования приспособлений / В.И. Аверченков, В.Б. Ильицкий. – Учеб. пособие. Брянск: БИТМ, 1989.-174 с.

13. Аверченков, В.И. Автоматизация проектирования технологических процессов / В.И. Аверченков, Ю.М. Казаков. – 2-е изд., стереотип. – Москва: Флинта, 2011. – 229.

14. Аверченков, В.И. Автоматизация структурно-параметрического синтеза гидроцилиндров / В.И. Аверченков, Е.Е. Ваинмаер, В.А. Беспалов // Вестник БГТУ. 2007. - №1 - С.52-59.

15. Аверченков, В.И. САПР технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов / В.И. Аверченков, И.А. Каштальян. – Учеб. пособие. Брянск: БИТМ, 1993. – 288 с.

16. Аверченков, В.И. Создание системы автоматизированного проектирования типовых изделий на основе параметризации / В.И. Аверченков, В.Н. Ивченко, М.Ю. Рытов // Известия ТГУ. Вып.1 Технологическая системотехника. Тула, 2003. С. 70-76.

17. Азирова, А.Г. Проектирование гидро- и пневмосистем / А.Г. Азирова, А.М. Рагимов, М.Г. Азирова // Учебное пособие Баку. АГНА, 2004.–100с.

18. Акимов, С.В. Введение в морфологические методы исследования и моделирование знаний предметной области [Электронный ресурс]: проект посвящен проблемам автоматизации структурно-параметрического синтеза объектов / С.В. Акимов. - Structuralist 2005-2006. – Режим доступа: <http://structuralist.narod.ru/articles/morphmethod/morphmethod.htm>, свободный.

19. Андрейчиков, А.В., Андрейчикова О.Н. Компьютерная поддержка изобретательства (методы, системы, примеры применения)/А.В. Андрейчиков, А.В. Андрейчикова- М.: Машиностроение, 1998.- 476 с.

20. Бажин, И.И. Автоматизированное проектирование машиностроительного гидропривода / И.И. Бажин, Ю.Э. Беренгард, М.М. Гайцгори и др.; под общ. ред С.А. Ермакова. – М.: Машиностроение, 1988. – 312 с.
21. Белов, В.В., Теория графов / В.В. Белов, Е.М. Воробьёв, В.Е. Шаталов. М.: Высш. школа, 1976.- 392 с.
22. Березина, Л.Ю. Графы и их применение / Л.Ю. Березина - М.: Просвещение, 1979.- 143 с.
23. Беспалов, В.А. Автоматизация параметрического проектирования гидроцилиндров с учетом условий их эксплуатации: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. тех. наук (05.13.12) / Беспалов Виталий Александрович. – М., 2007. – 20 с.
24. Беспалов, В.А.. Автоматизация параметрического проектирования гидроцилиндров типа ГЦО // Новые информационные технологии в научных исследованиях и в образовании НИТ-2004. Тезисы докладов IX всероссийской научно-технической конференции молодых ученых и специалистов, Рязань, - 2004. С.117-118.
25. Божко, А.Н. Структурный синтез на элементах с ограниченной сочетаемостью [Электронный ресурс]: Методолог / А.Н. Божко, А.Ч. Толпаров – Москва. – Режим доступа: <http://www.metodolog.ru/00562/00562.html>, свободный.
26. Васильченко, В.А. Гидравлическое оборудование мобильных машин / В.А. Васильченко//Справочник. М.: Машиностроение, 1983. -301с.
27. Введение в SQLite [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. дан. – 2010– . – Режим доступа: [http://phpclub.ru/detail/article/sqlight\\_intro](http://phpclub.ru/detail/article/sqlight_intro), свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
28. Волжанова, О.А. Схемы гидравлические принципиальные [Текст]: учеб.- метод. пособие / Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2012. 40 с.

29. Галин, Д.А. Оценка работоспособности и повышение долговечности объемного гидропривода ГСТ-9: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. тех. наук (05.20.03) / Галин Дмитрий Александрович. – Саранск, 2007. – 24 с.

30. Горбушко, М.В. Динамические характеристики машинных агрегатов с объемным гидроприводом: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. тех. наук (05.02.03) / Горбешко Михаил Владимирович. – С-Петербург, 2000. – 18 с.

31. Дубов, Ю.А. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем / Ю.А. Дубов, С.И. Травкин, В.Н. Якимцев - М.: «Наука», 1986.

32. Евгеньев, Г.Б Системология инженерных знаний // Учеб. пособие для вузов. -М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001.-376 с.

33. Земсков, А.М. Технология повышения долговечности объемного гидропривода: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. тех. наук (05.20.03) / Земсков Александр Михайлович. – Саранск, 2014. – 214 с.

34. Иванова, Г.С. Объектно-ориентированное программирование / Г.С. Иванова, Т.Н. Ничушкина, Е.К. Пугачев // М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 2001. 320с.

35. Иерархическая СУБД – Википедия [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. дан. – 2001– . – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/ИерархическаяСУБД>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

36. Ильин, В. Н. Разработка и применение программ автоматизации схемотехнического проектирования / В. Н. Ильин, В.И. Коган // М.: Радио и связь, 1984.-368 с.

37. Керимов, Э. Г. Автоматизированное проектирование конструкций / Э. Г. Керимов, С.А. Багиров // М.: Машиностроение, 1985. 135 с.

38. Корпачев, В.П. Основы проектирования объемного гидропривода [Текст] / В.П. Корпачев, А.А. Андрияс, А.И. Пережилин. – 3-е изд., перераб. и доп. – Красноярск: СибГТУ, 2012. – 166.

39. Марутов, В.А. Гидроцилиндры / В.А. Марутов, С.А. Павловский // М.: Издательство Машиностроение, 1966. 169 с.
40. Мукушев, Ш. К. Совершенствование объемного гидропривода рулевого управления дорожно-строительных машин: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. тех. наук (05.05.04) / Макушев Шадат Курмашович. – Омск, 2007. – 26 с.
41. Наземцев, А.С. Пневматические и гидравлические приводы и системы: в 2-х т. / А.С. Наземцев, Д.Е. Рыбальченко; Мин-во образования РФ. – Москва: Форум, 2007. – 296.
42. Норенков, И.П. Автоматизированное проектирование / И.П. Норенков. – Учеб. пособие. Москва, 2000. – 188 с.
43. Норенков, И.П. Основы автоматизированного проектирования: Учеб. для вузов. 2-е изд., перераб и доп./ И.П. Норенков.- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002.-336 с.
44. Обзор ядер геометрического моделирования [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. дан. – 2005– . – Режим доступа: <http://www.cad.dp.ua/obzors/karnel.php>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
45. Общие сведения об SQL Server Compact Edition [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. дан. – 2010– . – Режим доступа: <http://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/ms173037%28v=sql.90%29.aspx>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
46. Объектно-ориентированная СУБД – Википедия [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. дан. – 2001– . – Режим доступа: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Объектно-ориентированная\\_СУБД](http://ru.wikipedia.org/wiki/Объектно-ориентированная_СУБД), свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
47. Объектно-реляционная СУБД – Википедия [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. дан. – 2001– . – Режим доступа: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Объектно-реляционная\\_СУБД](http://ru.wikipedia.org/wiki/Объектно-реляционная_СУБД), свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

48. Одрин, В.М. Метод морфологического анализа технических систем / В.М. Одрин - М.: ВНИИПИ, 1989.

49. Одрин, В.М. Морфологический синтез систем: морфологические методы поиска / В.М. Одрин - Киев: Институт кибернетики им. В. М. Глушкова АН УССР, 1986.

50. Одрин, В.М. Морфологический анализ систем. Построение морфологических таблиц. / В.М. Одрин, С.С. Картавов - К: Наукова думка, 1977.

51. Описание nanoCAD [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. дан. – 2000– . – Режим доступа: <http://avesoft.ru/nanocad-avtomatizirovaniya-sapr/nanocad-avtomatizirovaniya-sapr-2.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

52. Орловский, С.А., Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации / С.А. Орловский. – М.: Наука, 1981. – 208 с.

53. Параметрическое моделирование – Википедия [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. – 2016 – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Параметрическое\\_моделирование](https://ru.wikipedia.org/wiki/Параметрическое_моделирование). - Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

54. Петров, А.В. Разработка САПР. В 10 к. К. 1. Проблемы и принципы создания САПР / А.В. Петров, В.М. Черненко. – М. : Высшая школа, 1990. – 143 с. ; ил.

55. Петров, А.В. Разработка САПР. В 10 к. К. 10. Лабораторный практикум на базе учебно-исследовательской САПР / А.В. Петров. – М. : Высшая школа, 1990. – 159 с. ; ил.

56. Петров, А.В. Разработка САПР. В 10 к. К. 2. Системотехнические задачи создания САПР / А.Н. Данчул. – М. : Высшая школа, 1990. – 141 с. ; ил.

57. Петров, А.В. Разработка САПР. В 10 к. К. 3. Проектирование программного обеспечения САПР / Б.С. Федоров, Н.Б. Гуляев. – М. : Высшая школа, 1990. – 158 с. ; ил.

58. Петров, А.В. Разработка САПР. В 10 к. К. 4. Проектирование баз данных САПР / О.М. Вейнеров, Э.Н. Самохвалов. – М. : Высшая школа, 1990. – 143 с. ; ил.

59. Петров, А.В. Разработка САПР. В 10 к. К. 5. Организация диалога в САПР / В.И. Артемьев, В.Ю. Строганов. – М. : Высшая школа, 1990. – 157 с. ; ил.

60. Петров, А.В. Разработка САПР. В 10 к. К. 6. Выбор состава программно-технического комплекса САПР / Ю.Г. Нестеров, И.С. Папшев. – М. : Высшая школа, 1990. – 157 с. ; ил.

61. Петров, А.В. Разработка САПР. В 10 к. К. 7. Графические системы САПР / В.Е. Климов. – М. : Высшая школа, 1990. – 141 с. ; ил.

62. Петров, А.В. Разработка САПР. В 10 к. К. 8. Математические методы анализа производительности и надежности САПР / В.И. Кузовлев, П.Н. Шкаатов. – М. : Высшая школа, 1990. – 143 с. ; ил.

63. Петров, А.В. Разработка САПР. В 10 к. К. 9. Имитационное моделирование / В.М. Черененький. – М. : Высшая школа, 1990. – 110 с. ; ил.

64. Петровский, А.Б. Теория принятия решений. Прикладная математика и информатика / А.Б. Петровский. – М., Издательский центр «Академия», 2009. – 401 с.

65. Реляционная СУБД – Википедия [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. дан. – 2001– . – Режим доступа: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Реляционная\\_СУБД](http://ru.wikipedia.org/wiki/Реляционная_СУБД), свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

66. Репин, В.В. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов / В.В. Репин, В.Г. Елиферов. – М., РИА «Стандарты и качество», 2004. – 408 с.

67. Рыбаков, А.В. Особенности выбора графической среды для промышленного проектирования объектов машиностроения // Информационные технологии, №5, 2002, стр. 13-20.

68. Свэн, В. Г. Методы прямого поиска для решения задач с ограничениями // Численные методы условной минимизации: Пер. с англ. М.: Мир 1977. С. 211—234.

69. Сетевая СУБД – Википедия [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. дан. – 2001– . – Режим доступа: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Сетевая\\_СУБД](http://ru.wikipedia.org/wiki/Сетевая_СУБД), свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

70. Система управления базами данных – Википедия [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. дан. – 2001– . – Режим доступа: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Система\\_управления\\_базами\\_данных](http://ru.wikipedia.org/wiki/Система_управления_базами_данных), свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

71. Смирнов, О.Л. САПР: формирование и функционирование проектных модулей.: учеб. / О.Л. Смирнов, С.Н. Падалко, С.А. Пиявский // М.: Машиностроение, 1987. 287 с.

72. Структурное программирование [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. дан. – 2011– . – Режим доступа: <http://www.maksakov-sa.ru/TehProgram/StrProgr/index.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

73. Щербин, А.В. Обоснование параметров и режимов работы объемного гидропривода трансмиссий гусеничных лесопромышленных тракторов: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. тех. наук (05.21.01) / Щербин Антон Владимирович. – Красноярск, 2010. – 20 с.

74. Экснер, Х. Гидропривод. Основы и компоненты / Х. Экснер, Р. Фрейтаг, Х. Гайс ; перевод с нем. Д.В. Горобец. – М. : Бош Рексрот АГ, 2003. – 323 с.

75. Юшкин, В.В. Основы расчета объемного гидропривода // Минск: Высшая школа, 1982.

76. Язык программирования С [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. дан. – 2005– . – Режим доступа: <http://altcode.ru/c/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

77. Язык программирования C# [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. дан. – 2005– . – Режим доступа: <http://altcode.ru/c-sh/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

78. Язык программирования C++ [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. дан. – 2005– . – Режим доступа: <http://altcode.ru/c-plus/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

79. Язык программирования Delphi [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. дан. – 2005– . – Режим доступа: <http://altcode.ru/delphi/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

80. Язык программирования Java [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. дан. – 2005– . – Режим доступа: <http://altcode.ru/java/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

81. About Python [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. дан. – 2005– . – Режим доступа: <https://www.python.org/about/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ.

82. AutoCAD [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. дан. – 2009– . – Режим доступа: <http://seniga.ru/index.php/sapr/ssapr/63-autocad.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

83. Autodesk Inventor [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. дан. – 2009– . – Режим доступа: [http://www.inventor.ru/descriptions/version\\_17159.html](http://www.inventor.ru/descriptions/version_17159.html), свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

84. Creo Parametric – описание программы [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. дан. – 2011– . – Режим доступа: [http://chemotkrit.ru/soft/Creo\\_Parametric](http://chemotkrit.ru/soft/Creo_Parametric), свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

85. Embedded Database Management System [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. дан. – 2013– . – Режим доступа: <http://raima.com/rdm-embedded/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ.

86. Empress Embedded Database [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. дан. – 2010– . – Режим доступа: <http://www.empress.com/products/products.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ.

87. History and License – Python 3.4.1 Documentation [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. дан. – 1990– . – Режим доступа: <https://docs.python.org/3/license.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. англ.

88. SolidWorks [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. дан. – 2009– . – Режим доступа: <http://seniga.ru/index.php/sapr/ssapr/62-solidworks.html>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

89. T-FLEX CAD [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. дан. – 2000– . – Режим доступа: <http://www.tflex.ru/products/konstruktor/cad3d/>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.

90. Zwicky F. Discovery, Invention, Research through the Morphological Approach. New York: McMillan, 1969.

91. 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.

92. 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.

93. 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.

94. Орехов Д.В. Опыт применения системы автоматизированного проектирования специализированных гидравлических станций на промышленном

предприятия / Д.В. Орехов // Известия Тульского государственного университета. – 2024. - №5. – С. 114-121.

95. 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.

96. 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.

97. 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.

98. 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

99. 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.

100. 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.

101. 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.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

## Сравнительный анализ CAD-систем

Возможности	Вес критерия	Компас-3D	T-FLEX CAD	AutoCAD	Inventor	Solid Works	Creo	nano-CAD
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Работа с файлами</b>								
Собственный формат файлов	0,03	+	+	+	+	+	+	-
Поддержка файлов свободных форматов		+	+	+	+	+	+	+
Экспорт в PDF с использованием таблицы стилей		+	+	+	+	+	+	-
Экспорт в свободные форматы		+	+	+	+	+	+	+
Степень исполнения		1	1	1	1	1	1	0,5
Результат оценки по критерию		0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,015
<b>Интерфейс</b>								
Панели инструментов и меню	0,03	+	+	+	+	+	+	+
Визуальная настройка меню		+	+	+	+	+	+	+
Диспетчер параметров с функцией поиска		+	+	+	+	+	+	-
Инструментальные палитры		+	+	+	+	+	+	+
Степень исполнения		1	1	1	1	1	1	0,75
Результат оценки по критерию		0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,0225
<b>Выбор, привязка и трассировка</b>								
Предварительное выделение при выборе объектов	0,03	+	+	+	+	+	+	+
Инструмент быстрого выбора		+	+	+	+	+	+	-
Захват группы узлов для редактирования нескольких узлов		+	+	+	+	+	+	+
Степень исполнения		1	1	1	1	1	1	0,33
Результат оценки по критерию		0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,0099

Продолжение приложения 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>3D-моделирование</b>								
Поверхностное моделирование	0,3	+	+	+	+	+	+	+
Твердотельное моделирование		+	+	+	+	+	+	+
Наличие основных геометрических примитивов		+	+	+	+	+	+	+
Наличие массивов элементов		+	+	+	+	+	+	-
Параметрическое моделирование		+	+	+	+	+	+	-
Прямое моделирование		-/+	-	-	-	-	-	-
Проектирование изделий из листового металла		+	+	+	+	+	+	+
Библиотека стандартных изделий		+	+	+	+	+	+	-
Секущие плоскости		+	+	+	+	+	+	+
Степень исполнения		0,95	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	0,56
Результат оценки по критерию		0,285	0,267	0,267	0,267	0,267	0,267	0,168
<b>Построение чертежей</b>								
Построение чертежей	0,2	+	+	+	+	+	+	+
Построение ассоциативных чертежей		+	+	+	+	+	+	-
Параметрическое черчение		+	+	+	-	-	-	-
Поддержка ЕСКД		+	+	+	+	+	-	+
Степень исполнения		1	1	1	0,75	0,75	0,5	0,5
Результат оценки по критерию		0,2	0,2	0,2	0,15	0,15	0,1	0,1
<b>Машиностроительное проектирование</b>								
Просмотр сборок	0,06	+	+	+	+	+	+	+
Зависимости сборок		+	+	+	+	+	+	-
Автоматические спецификации		+	+	+	+	+	+	-
Степень исполнения		1	1	1	1	1	1	0,33
Результат оценки по критерию		0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,0198
<b>Размеры</b>								
Ассоциативные размеры	0,05	+	+	+	+	+	+	-
Размерные 2D зависимости		+	+	+	+	+	+	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Использование вы- ражений для опреде- ления 2D зависимо- стей		+	+	+	+	+	+	-
Степень исполнения		1	1	1	1	1	1	0
Результат оценки по крите- рию		0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0
Текст								
Многоязычный набор символов	0,005	+	+	+	+	+	+	+
Степень исполнения		1	1	1	1	1	1	1
Результат оценки по крите- рию		0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Штриховка								
Градиентная заливка	0,03	+	+	+	+	+	+	+
Пользовательские шаблоны штриховки		+	+	+	+	+	+	+
Редактирование штриховки		+	+	+	+	+	+	+
Степень исполнения		1	1	1	1	1	1	1
Результат оценки по крите- рию		0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Растровые изображения								
Поддержка растро- вых изображений	0,015	+	+	+	+	+	+	+
Поддержка вектор- ных изображений		+	+	+	+	+	+	+
Степень исполнения		1	1	1	1	1	1	1
Результат оценки по крите- рию		0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
Другое								
Масштабирование и панорамирование в реальном времени	0,01	+	+	+	+	+	+	-
Менеджер состояний слоев		+	+	+	+	+	+	-
Фильтры слоев		+	+	+	+	+	+	+
Мультилинии и сти- ли мультилиний		+	+	+	+	+	+	+
Степень исполнения		1	1	1	1	1	1	0,5
Результат оценки по крите- рию		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05
Печать								
Импорт и редак- тирование парамет- ров страницы	0,03	+	+	+	+	+	+	+

Окончание приложения 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Печать в режиме тонирования для видовых окон пространства листа и модели		+	+	+	+	+	+	+
Печать листов с комбинациями видовых окон и различными визуальными стилями		+	+	+	+	+	+	+
Калибровка принтера		+	+	+	+	+	+	+
Степень исполнения		1	1	1	1	1	1	1
Результат оценки по критерию		0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Лицензирование								
Обычная лицензия	0,03	+	+	+	+	+	+	+
Пробный период		+	+	+	+	+	+	-
Свободно-распространяемая лицензия		-	-	-	-	-	-	+
Академическая лицензия		-	+	+	+	-	+	-
Степень исполнения		1	1	1	1	1	1	1
Результат оценки по критерию		0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Программирование								
ActiveX, включая редактирование на месте	0,2	+	+	+	+	-	-	-
Редактирование данных объекта		+	+	+	+	+	+	+
Запись сценария		+	+	+	+	-	-	-
COM API		+	+	+	+	+	+	+
Поддержка внутреннего языка		+	+	+	+	+	-	-
.NET		+	+	+	+	+	+	-
Степень исполнения		1	1	1	1	0,67	0,5	0,33
Результат оценки по критерию		0,2	0,2	0,2	0,2	0,134	0,1	0,066
Сводный результат по всем группам критериев		0,985	0,967	0,967	0,917	0,851	0,767	0,5612

-/+ – технология поддерживается не полностью.

## Сравнительный анализ языков программирования

Возможности	C	C++	C#	Java	Python	Delphi
1	2	3	4	5	6	7
<b>Поддерживаемые парадигмы программирования</b>						
Императивная	+	+	+	+	+	+
Объектно-ориентированная	-/+	+	+	+	+	+
Функциональная	-	-/+	-/+	-/+	+	-/+
Рефлексивная	-	-	-/+	-/+	+	-/+
Обобщенное программирование	-	+	+	+	+	+
Логическая	-	-	-	-	-	-
Декларативная	-	-	-/+	-	+	-
Распределенная	-/+	-/+	-/+	+	-/+	-
<b>Типизация</b>						
Статическая типизация	+	+	+	+	-	+
Динамическая типизация	-	-	+	-	+	-/+
Явная типизация	+	+	+	+	-/+	+
Неявная типизация	-	-/+	-/+	-	+	-
Неявное приведение типов без потери данных	+	+	+	-	+	+
Неявное приведение типов с потерей данных	+	+	-	-	-	+
Неявное приведение типов в неоднозначных ситуациях	+	+	+	-	-	-
Информация о типах в runtime	-	-/+	+	+	+	+
Информация о типах-параметрах в runtime	-	-/+	+	-	+	+
<b>Компиляция/интерпретация</b>						
Open-source компилятор (интерпретатор)	+	+	+	+	+	+
Возможность компиляции	+	+	+	+	+	+
Многопоточная компиляция	+	+	-	+	-	-
Интерпретатор командной строки	-/+	-/+	-	-	+	-
Условная компиляция	+	+	+	-/+	-	+
<b>Управление памятью</b>						
Создание объектов на стеке	+	+	+	-	-	-/+
Неуправляемые указатели	+	+	+	-	-	+
Ручное управление памятью	+	+	+	-	-	+
Сборка мусора	-	-/+	+	+	+	-
<b>Управление потоком вычислений</b>						
Инструкция goto	+	+	+	-	-	+

## Окончание приложения 2

Инструкции break	+	+	+	+	+	+
1	2	3	4	5	6	7
Инструкция break с меткой	-	-	-	+	-	-
Поддержка try/catch	-	+	+	+	+	+
Блок finally	-	-	+	+	+	+
Блок else (исключения)	-	-	+	+	+	+
Типы и структуры данных						
Кортежи	-	-/+	-/+	-	+	-
Алгебраические типы данных	-	-	-	-	+	-/+
Многомерные массивы	+	+	+	-/+	-/+	+
Динамические массивы	-	+	-/+	-/+	-/+	+
Ассоциативные массивы	-	+	+	-/+	+	-/+
Контроль границ массивов	-	-/+	+	+	+	+
Цикл foreach	-	+	+	+	+	+
Списковые включения	-	-	-/+	-	+	-
Целые числа произвольной длины	-	-	+	+	+	-
Целые числа с контролем границ	-	-	-	-	-	+
Объектно-ориентированные возможности						
Интерфейсы	-/+	+	+	+	+	+
Мультиметоды	-	-/+	-/+	-	-	-
Переименование членов при наследовании	-	-/+	-	-	-	-
Множественное наследование	-	+	-	-	+	-
Решение конфликта имен при множественном наследовании	-	-/+	-	-	+	-
Разное						
Макросы	+	+	-	-	-	-
Шаблоны/Generics	-	+	+	+	-	+
Поддержка Unicode в идентификаторах	+	+	+	+	+	+
Перегрузка функций	-	+	+	+	-	+
Динамические переменные	-	-	-	-	-	-
Именованные параметры	-	-	+	-	+	-/+
Значения параметров по умолчанию	-	+	+	-	+	+
Локальные функции	-/+	+	-/+	-/+	+	+
Наличие библиотек для работы с графикой и мультимедиа (OpenGL/WebGL/OpenML, OpenAL, DirectX)	+	+	+	+	+	+

-/+ – технология поддерживается не полностью.

## Сравнительный анализ встраиваемых СУБД

Возможности	Raima Database Manager Embedded	Empress Embedded Database	Microsoft SQL Server Compact	SQLite	PostgreSQL
1	2	3	4	5	6
<b>Основная информация</b>					
Разработчик	Raima Inc.	Empress Software Inc	Microsoft	D. Richard Hipp	Сообщество разработчиков PostgreSQL
Первая дата релиза	1984	1979	2000	2000	1994
Последняя стабильная версия	11.0	10.20	4.0	3.8.0.2	9.6.2
Дата последнего релиза	2012-06-29	2010-03	2011-05	2013-09-03	2016-12
Лицензия	Проприетарная	Проприетарная	Проприетарная	Общественное достояние	Общественное достояние
<b>Поддержка операционных систем</b>					
Windows	+	+	+	+	+
OSX	+	+	-	+	+
Linux	+	+	-	+	+
BSD	+	+	-	+	+
UNIX	+	+	-	+	+
iOS	+	-	-	+	
Android	-	+	-	+	
<b>Основные особенности</b>					
ACID	+	+	+	+	+
Ссылочная целостность	+	+	+	+	+
Поддержка транзакций	+	+	+	+	+
Поддержка Unicode	+	+	+	-/+	+
Интерфейс	SQL + API	SQL + API	SQL + GUI	SQL + API	SQL + API
<b>Пределы</b>					
Максимальный размер базы данных	не ограничен	не ограничен	4 Гб	128 Тб	Не ограничен
Максимальный размер таблицы	$2^{48}-1$	$2^{63}-1$	4 Гб	ограничен размерами таблицы	32 ТБ
Максимальное количество	32 Кб	2 Гб	8060	ограничено размерами	Нет ограничений

Продолжение приложения 3

строка				таблицы	
1	2	3	4	5	6
Максимальное количество столбцов в строке	1000	32767	1024	32767	1600
Максимальное значение типа CHAR	256	2 Гб	4000	2 Гб	2 Гб
Максимальное числовое значение	64 бита	64 бита	154 бита	64 бита	64 бита
Максимальная длина названия столбца	31	32	128	не ограничена	Нет ограничена
Таблицы и представления					
Временные таблицы	+	+	+	+	+
Материализованное представление	-	+	-	-	+
Возможности БД (операторы)					
Union	-	+	+	+	+
Intersect	-	+	-	+	+
Except	-	+	-	+	+
Inner Joins	+	+	+	+	+
Outer Joins	+	+	+	ТОЛЬКО LEFT	+
Inner Selects	-	+	-	+	+
Merge Joins	-	+	-	-	-
Blobs & Clobs	+	+	+	+	+
Common Table Expressions	-	-	-	+	+
Windowing Functions	-	-	-	-	-
Parallel Query	-	-	-	-	+
Типы данных					
Тип системы	static	static	static	dynamic	?
Целочисленные типы	tinyint, smallint, integer, bigint	tinyint, smallint, integer, bigint	tinyint, smallint, int, bigint	integer (64-bit)	Integer, bigint
	2	3	4	5	
Типы с плавающей точкой	real, float, double	real, float, double	float, real	real (float, double) (64-bit)	real
Десятичные типы	-	decimal, dec, numeric, dollar	numeric, decimal, money	-	-
Строковые ти-	char, var-	character, echar-	nchar, nvar-	text (char,	Text, cahr

### Окончание приложения 3

пы	char, wchar, varwchar, long var- char, long varwchar	acter, character varying, national character, nation- al character vary- ing, nlscharacter, character large object, text, na- tional character large object, nlstext	char, ntext	clob)	
Бинарные типы	binary, varbinary, long var- binary	blob, bulk	binary, var- binary, im- age	blob	Blob, bytea
Типы Да- та/Время	date, time, timestamp	date, edate, time, etime, epoch_time, timestamp, micro- timestamp	datetime	-	timeshtamp
Булевские ти- пы	bit	boolean	bit	-	bit
Другое	-	sequence 32, se- quence	timestamp, rowversion, uniquei- dentifier, identity, rowguidcol	-	-
Другие объекты					
Триггеры	-	+	-	+	+
Функции	-	+	-	-	+
Процедуры	+	+	-	-	-

-/+ – технология поддерживается не полностью.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2017615879

Система автоматизированного проектирования  
гидравлических схем «HydraulicsCAD»

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный технический университет» (RU)*

Авторы: *Орехов Дмитрий Вячеславович (RU), Аверченков Андрей Владимирович (RU), Терехов Максим Владимирович (RU)*

Заявка № 2017612752

Дата поступления 03 апреля 2017 г.

Дата государственной регистрации  
в Реестре программ для ЭВМ 25 мая 2017 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Г.П. Излиев* Г.П. Излиев

## ООО "БОРОКС Гидравлика"

Адрес: 241047, Брянская обл., г. Брянск, Большое Полпино рп., ул. Фосфоритная 1А,  
Тел/факс (4832)32-09-80  
ИНН/КПП 3257034247/325701001,  
р/с: 40702810700000009229  
к/с: 301018102000000000700  
Банк: АО "Райффайзенбанк г. Москва, БИК: 044525700

Исх. № 30 от 01.05.2017г.

### АКТ

внедрения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ.

Настоящим актом удостоверяется, что САПР гидравлических станций, разработанная аспирантом Ореховым Д.В. в рамках выполнения диссертационного исследования на тему «Автоматизация проектирования гидравлических станций с использованием метода морфологического анализа», в виде приложения расширяющего возможности САД-системы Компас 3D, внедрена на ООО «БОРОКС Гидравлика».

Система автоматизированного проектирования гидравлических станций используется на предприятии для расчета основных параметров гидравлических станций, разработки принципиальных гидравлических схем, подбора элементов гидравлической станции и построения трехмерной модели гидравлической станции. В ходе эксплуатации программы подтверждено, что она обладает всеми заявленными возможностями.

Система автоматизированного проектирования прошла период опытной эксплуатации в проектном бюро. В период опытной эксплуатации работа с программным продуктом осуществлялась инженерами ООО «БОРОКС Гидравлика».

Генеральный директор  
ООО "БОРОКС Гидравлика"



*Б.В. Курашов*  
Б.В. Курашов



**ЗАВОД  
ПРОМЫШЛЕННОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ**

194044, РОССИЯ, г. Санкт-Петербург,  
ул. Менделеевская д.9

ИНН 7811509673  
КПП 781101001  
ОГРН 1117847608548

<http://ZAVODPRO.RU>

email: [bas@zavodpro.ru](mailto:bas@zavodpro.ru)

т./ф. (812) 612-02-91

Исх. №25/10-03

от 25 октября 2017г.

**АКТ**

внедрения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ.

Настоящим актом удостоверяется, что САПР гидравлических схем «HydraulicsCAD», разработанная аспирантом Ореховым Д.В. в рамках выполнения диссертационного исследования на тему «Автоматизация проектирования гидравлических станций с использованием метода морфологического анализа» в виде приложения расширяющего возможности САД-системы Компас-3D, внедрена на ООО «Завод промышленного оборудования».

Приложение «HydraulicsCAD» используется на предприятии для расчета основных параметров объемного гидропривода, разработки принципиальных гидравлических схем, проверки разработанных схем на корректность их построения и обучения персонала основам разработки принципиальных гидравлических схем. В ходе эксплуатации программы подтверждено, что она обладает всеми заявленными возможностями.

Приложение «HydraulicsCAD», расширяющее возможности системы Компас-3D, прошло период опытной эксплуатации в проектно бюро.

Генеральный директор



Бондарев А.С.

РФ, 107014, г. Москва  
ул. Егерская, д. 1  
Тел./факс: (495) 514-18-68/69  
e-mail: info@gidros.ru

Общество с Ограниченной Ответственностью  
**НПО "Гидросфера"**

Исх. № 195 от "25" октября 2017 г

**АКТ**

внедрения научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ.

Настоящим актом удостоверяется, что САПР гидравлических схем «HydraulicsCAD», разработанная аспирантом Ореховым Д.В. в рамках выполнения диссертационного исследования на тему «Автоматизация проектирования гидравлических станций с использованием метода морфологического анализа» в виде приложения расширяющего возможности САД-системы Компас-3D, внедрена на ООО «НПО» Гидросфера»

Приложение «HydraulicsCAD» используется на предприятии для расчета основных параметров объемного гидропривода, разработки принципиальных гидравлических схем, проверка разработанных схем на корректность их построения, подбора комплектующих гидравлических станций и построения трехмерных моделей компонентов гидравлических станций. В ходе эксплуатации программы были выявлены незначительные ошибки, которые в целом не влияют на работоспособность приложения «HydraulicsCAD», подтверждено, что приложение обладает всеми заявленными возможностями.

Приложение «HydraulicsCAD», расширяющее возможности системы Компас-3D, прошло период опытной эксплуатации в конструкторском бюро.

С уважением,  
Генеральный директор



Петраков В.В.

WWW.GIDROS.RU