

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «ШАГ В БУДУЩЕЕ»

**НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ СОРЕВНОВАНИЕ «ШАГ В
БУДУЩЕЕ, МОСКВА»**

регистрационный номер 1827

Робототехника и комплексная автоматизация

Компьютерные системы автоматизации производства (РК-9)

**МЕХАТРОННЫЙ МОДУЛЬ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ
ТРУБОПРОВОДА С ПРИМЕНЕНИЕМ АДАПТИВНОГО
УПРАВЛЕНИЯ И НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

Научный руководитель:

**А
ГБОУ школа № 1580 при МГТУ
имени Баумана, 11 «С» клас
о
Новиков Андрей
Дмитриевич
Старший преподаватель кафедры
СМ 13 МГТУ им. Н.А. Баумана**

подпись научного руководителя

**Москва – 2021
МЕХАТРОННЫЙ МОДУЛЬ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ**

ТРУБОПРОВОДА С ПРИМЕНЕНИЕМ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ И НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Бородулин Александр Сергеевич

ГБОУ школа № 1580 при МГТУ имени Баумана, г. Москва, ул. , д. , 11 «С» класс

Научный руководитель: Новиков Андрей Дмитриевич, Старший преподаватель кафедр СМ 13 МГТУ им. Н.Э. Баумана

В данной работе разрабатывается проект автоматизированной системы контроля жидкости в нефтепроводе, построенной на принципах нечеткой логики. Контрольными параметрами выступают давление, количество жидкости и скорость потока жидкости. Все три параметра должны находиться в пределах действия лингвистического термина «средне». Поток может изменяться: усиливаться или ослабевать, - при этом реакция адаптивной системы должна быть достаточно быстрой, чтобы нефтепровод не получил критических повреждений.

Цель работы: разработка системы автоматизированного адаптивного контроля жидкости в трубопроводе с помощью нечеткой логики по трем контрольным параметрам: давление жидкости, количество жидкости, скорость потока жидкости.

Задачи:

1. Разработка 3D модели мехатронного модуля системы контроля трубопровода;
2. Разработка электронной схемы мехатронного модуля системы контроля трубопровода;
3. Синтез системы управления для мехатронного модуля системы контроля трубопровода;
4. Составление алгоритма работы мехатронного модуля системы контроля трубопровода.

Результаты:

1. Разработана 3D-модель мехатронного модуля системы контроля трубопровода;
2. Разработана электронная схема мехатронного модуля системы контроля трубопровода;
3. Синтезирована система управления для мехатронного модуля системы контроля трубопровода;
4. Составлен алгоритм работы мехатронного модуля системы контроля трубопровода.

Оглавление

1. ВВЕДЕНИЕ.....	4
2. РАЗРАБОТКА МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТРУБОПРОВОДА.	6
2.1 Разработка 3Д модели мехатронного модуля системы контроля трубопровода.	6
2.2 Разработка электронной схемы мехатронного модуля системы контроля трубопровода.....	15
2.3 Синтез системы управления и алгоритмизация ее работы мехатронного модуля системы контроля трубопровода.	19
3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	21
4. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	23

1. ВВЕДЕНИЕ

В современном мире, в частности, в Российской Федерации требуется прокладывать трубопроводы на весьма длительные расстояния. Для этого требуется задумываться о средствах контроля за правильностью работы этих систем. Для этого трубопровод (совершенно необязательно нефтегазовый) необходимо разделить на определенные участки и установить туда специальные средства контроля, которые позволят:

1) передавать данные об утечках в трубопроводе или его разрыве; контролировать оптимальный уровень и равномерность таких параметров, как давление, скорость потока жидкости или газа и количество протекающих через узел жидкостей или газов.

Важно также учитывать, что у трубопроводов могут быть ответвления и, в таком случае контроль приведенных выше параметров становится более важным. Сейчас во многих подобных системах подачи жидкости или газа давление, поток и скорость потока регулируется только одним устройством – насосом, который подает эту жидкость. В данной же работе предполагается разработать проект некоторого узла, который будет находиться в каждом ответвлении и контролировать приведенные выше параметры.

Каждый из приведенных параметров важен для учета, так как, например, в случае избыточного давления трубопровод может быть поврежден. Также, если будет слишком большой поток жидкости или газа, то в других ответвлениях вещества может не хватать. Таким образом потребитель в единственном числе может лишиться жидкости или газа других потребителей либо в краткосрочной перспективе (забирая на себя основной поток вещества), либо же в долгосрочной, если жидкость или газ имеют ограниченный ресурс, например, единый бак с водой, к которому подключено несколько потребителей. Контроль параметра скорости изменения потока позволит разным потребителям плавно менять уровень расхода параметров, что снизит нагрузку на трубопровод от внезапного включения или усиления потока.

В данной работе разрабатывается проект автоматизированной системы контроля жидкости в трубопроводе, построенной с применением адаптивного управления и принципов нечеткой логики.

Нечеткая логика (“fuzzy logic”) - это раздел многозначной логики, который базируется на обобщении классической логики и теории нечётких множеств, предложенной американским математиком Лютфи Заде в 1965 году для формализации нечётких знаний, характеризуемых лингвистической неопределённостью. То есть работа такой системы характеризуется не конкретным числовым значением, а неопределённым лингвистическим термом (от слов «термин», «характеристика»), таким как «МНОГО», «СРЕДНЕ» и прочие подобные выражения.

Применение такой логики обосновано тем, что при работе трубопровода с множественными разветвлениями нет четко определенного значения, которое соответствовало бы абсолютно точным параметрам работы. Система динамична: в каждый момент времени насос может выдавать разное количество жидкости или же трубопровод немного забился и выросло давление жидкости или газа, которое важно уменьшить, чтобы трубопровод служил дольше. Различных проблем, влияющих на качество работы трубопровода и расход жидкости или газа может быть достаточно много поэтому четко определить параметры контролирующего узла невозможно.

Применение нечеткой логики для обеспечения качественной работы контролирующих узлов трубопровода является актуальной задачей. С проблемой повышенного расхода, в частности, жидкости и отсутствия любого контроля трубопровода сталкиваются коммунальщики в многоквартирных домах, жители деревней и сёл, фермеры и многие другие потребители жидкостей, качество работы и жизни которых зависит от правильной подачи воды. Так, например, у фермера будет неурожай, если в одном месте системы полива будет вылито много воды, а в другом ее вообще не будет.

В современном мире эти проблемы решаются с помощью простых

адаптивных систем, где по одному параметру выполняется регулирование или подстройка до требуемого значения. В данной же работе предлагается создание экономически целесообразного мехатронного модуля с адаптивной системой управления, построенной на нечеткой логике.

Цель работы: разработка системы автоматизированного адаптивного контроля жидкости в трубопроводе с помощью нечеткой логики по трем контрольным параметрам: давление жидкости, количество жидкости, скорость потока жидкости.

Описание решаемых задач:

1. Разработка 3Д модели мехатронного модуля системы контроля трубопровода;

2. Разработка электронной схемы мехатронного модуля системы контроля трубопровода;

Синтез системы управления для мехатронного модуля системы контроля трубопровода;

Составление алгоритма работы мехатронного модуля системы контроля трубопровода.

2. РАЗРАБОТКА МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТРУБОПРОВОДА.

2.1 Разработка 3Д модели мехатронного модуля системы контроля трубопровода.

Система контроля трубопровода должна представлять собой некоторое устройство, которое будет иметь возможность регулировать поток жидкости. Единственный путь, которым это можно сделать, является изменение диаметра участка, через который протекает жидкость в трубопроводе. Изменение диаметра протекания жидкости можно выполнять путем частичного или полного

перекрытия трубопровода. Выполнять это можно разными способами:

1. использовать заслонку, которая будет подниматься и опускаться в зависимости от требований системы;
2. использовать шар с отверстием, которое по диаметру соответствует трубе, путем поворота которого будет изменяться диаметр трубы;

Каждый из этих способов завязан на разные типы движения: поступательное и вращательное. Заслонка использует поступательное движение для собственной работы. Такое движение можно реализовать путем применения таких передач, как реечная и винтовая. Каждое из таких решений позволит выполнять достаточно точное перемещение, что полностью обеспечит необходимую работоспособность изделия. У этих решений есть определенные недостатки: громоздкое исполнение, дороговизна комплектующих, - что несомненно важно в создании такого устройства, если важно применение его в быту обычными пользователями. Механизм заслонки на примере запорного клапана приведен на рисунке 1.

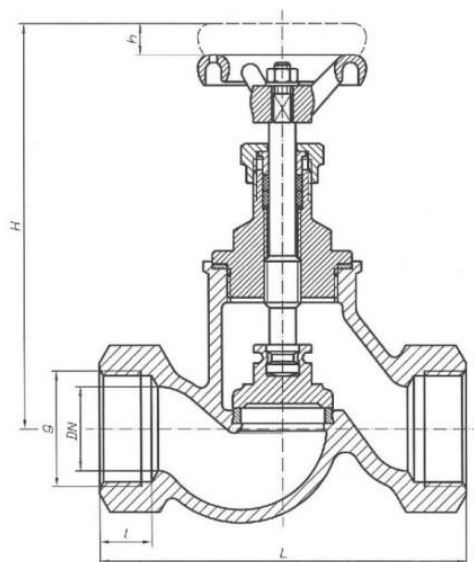


Рисунок 1. Механизм заслонки на примере запорного клапана.

Использование шарообразного запирающего механизма обойдется гораздо дешевле, так как не потребует достаточно дорогих комплектующих для своей работы. Но этот механизм также не лишен недостатков. Всё дело в том, что он запирает трубу с двух сторон одновременно, что уменьшает шаг регулирования, по сравнению с заслонкой. Шаровой механизм запора трубопровода на примере шарового крана приведен на рисунке 2.



Рисунок 2. Шаровой механизм запора трубопровода на примере шарового крана.

Таким образом имеем два различных решения, которые, имея свои достоинства и недостатки, удовлетворяют тем требованиям, которые им предъявлены. Теперь необходимо составить таблицу с достоинствами и недостатками каждого из механизмов и выбрать тот, что окажется наиболее оптимальным. Достоинства и недостатки обоих механизмов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Достоинства и недостатки шарового механизма и механизма

заслона трубопровода.

Название механизма	Достоинства	Недостатки
Механизм заслонки	Высокая точность работы Мелкий шаг регулирования	Сложность исполнения Сравнительно большие размеры Высокая стоимость комплектующих
Шаровой механизм	Низкая стоимость комплектующих Простота исполнения	Сложность качественного изготовления сферы Шаг регулирования сравнительно велик ввиду двойного запира- ния шаром трубы.

Из таблицы видно, что выполнение данной работы с применением шарового механизма более оптимально, так как при работе нечеткой логики шаг и точность регулирования в данном случае не так важны. Поэтому далее более важным параметром становится простота исполнения, где у шарового механизма, если рассмотреть рисунки 1 и 2, есть неоспоримое преимущество.

Так как дальнейший основной механизм устройства выбран, выполним создание его 3Д модели в программе Autodesk Inventor 2020. Так как, в первую очередь, для реализации проекта необходимо собрать опытный образец, выберем диаметр отверстия для трубы в 25 мм. Этого будет вполне достаточно, чтобы провести все тестовые мероприятия.

Основным элементом, с которого будет начато моделирование, является запирающий шар. Он должен иметь такой размер, при котором в нем может

разместиться отверстие диаметром в 25 мм. А также боковой частью шар должен полностью перекрыть такое отверстие. С такими требованиями достаточно использовать диаметр шара в 50 мм. Сверху запирающей сферы установим зубчатое колесо с круглыми зубьями. Подобный профиль зуба выбран с целью упрощения моделирования. В дальнейшем он будет изменен на более оптимальный. Зубчатое колесо необходимо для того, чтобы, во-первых, обеспечить понижающую передачу при управлении мотором поворотом этого шара, а во-вторых – это позволит зафиксировать шар от разного рода поворотов вокруг любой оси, кроме оси шестерни. Таким образом получим 3Д модель запирающего шара, приведенную на рисунке 3.

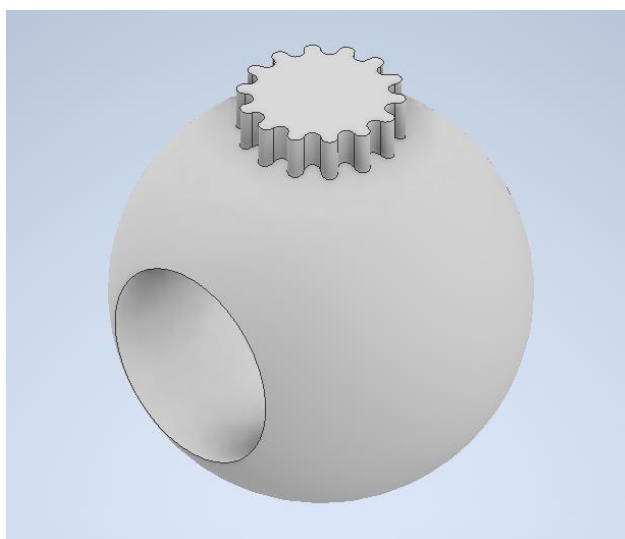


Рисунок 3. 3Д модель запирающего шара с отверстием по центру и шестерней сверху.

Следующим элементом для проектирования становится корпус мехатронного модуля, в который будет установлен этот шар, а также крышки и прочие механические части. Корпус будет представлять собой трубку с расширением под установку сферы и креплением для крышек, а также с двумя фланцами по краям для крепления датчиков, труб и прочих элементов. 3Д модель корпуса приведена на рисунке 4.

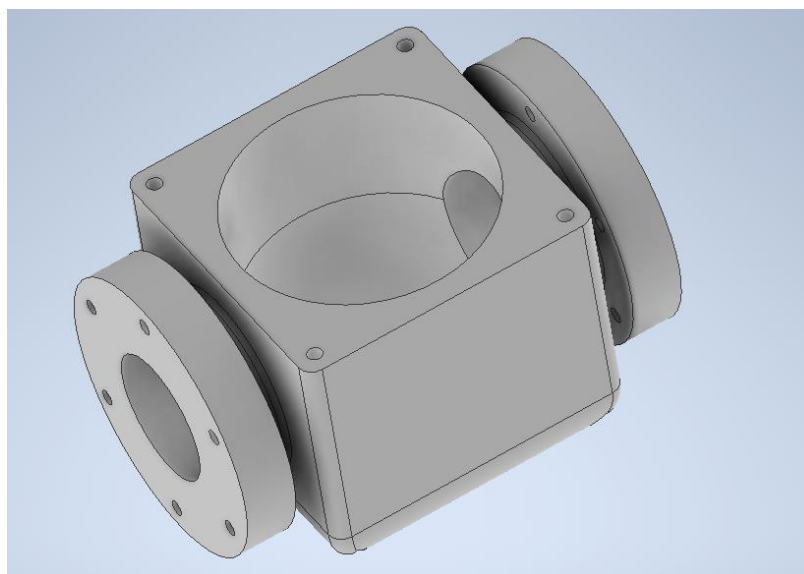


Рисунок 4. 3Д модель корпуса мехатронного модуля контроля трубопровода.

Далее рассмотрим разработку крышек, внутри которых будут располагаться шестерни, удерживающие запирающий шар от отклонений вокруг любых других осей, кроме оси верхней шестерни. Удерживающих, а также ведущих шестеренок будет три, чтобы зафиксировать с трех сторон шар без возможности какого-либо смещения. Эти шестерни будут меньше, чем та, что располагается сверху шара, что позволит обеспечить понижающую передачу. Эта передача, в свою очередь, уменьшит скорость работы, но повысит усилие, с которым может поворачиваться шар. Чем выше это усилие, тем большее давление при повороте может выдержать шар, когда отсекается поток воды. Таким образом ведущая шестерня приведена на рисунке 5. Крышка с отверстиями под эти шестерни и углублением для их установки приведена на рисунке 6.

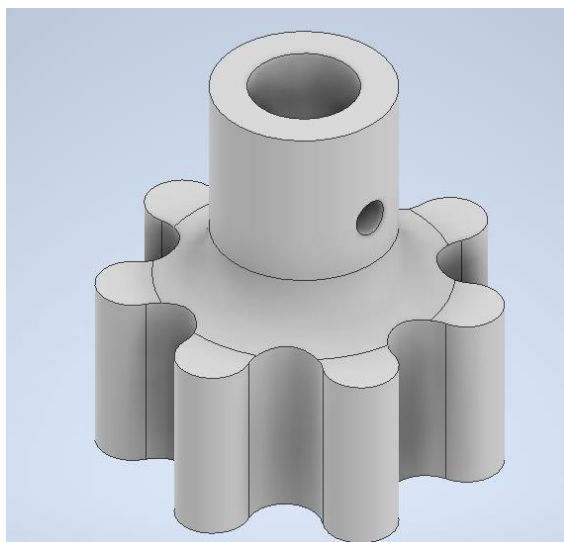


Рисунок 5. 3Д модель ведущей шестерни.

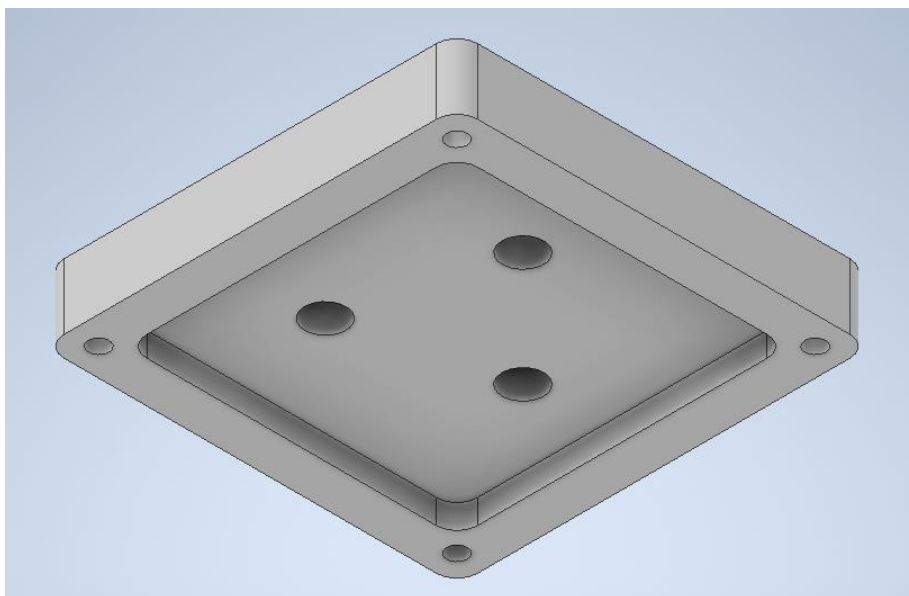


Рисунок 6. 3Д модель крышки с отверстиями и углублениями под шестерни.

Следующим шагом необходимо подобрать двигатель для поворота шестерней. Таким двигателем ввиду подходящих габаритных размеров будет мотор-редуктор постоянного тока GA12-N20. Этот мотор приведен на рисунке 7.



Рисунок 7. Мотор-редуктор постоянного тока GA12-N20.

Для работы с этим мотором в Autodesk Inventor 2020 подготовим упрощенную 3Д модель этого мотора и приведем ее на рисунке 8.

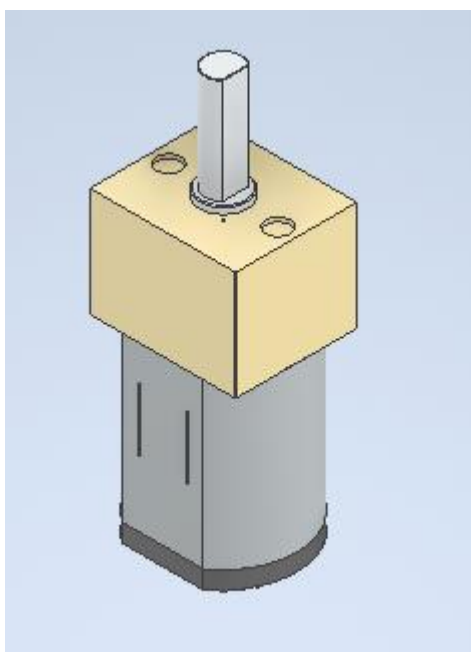


Рисунок 8. 3Д модель мотор-редуктора постоянного тока GA12-N20.

Следующим шагом подготовим крышку, в которую установится мотор, причем так, чтобы валом попадать на одну из шестерней. Модель этой крышки приведем на рисунке 9.

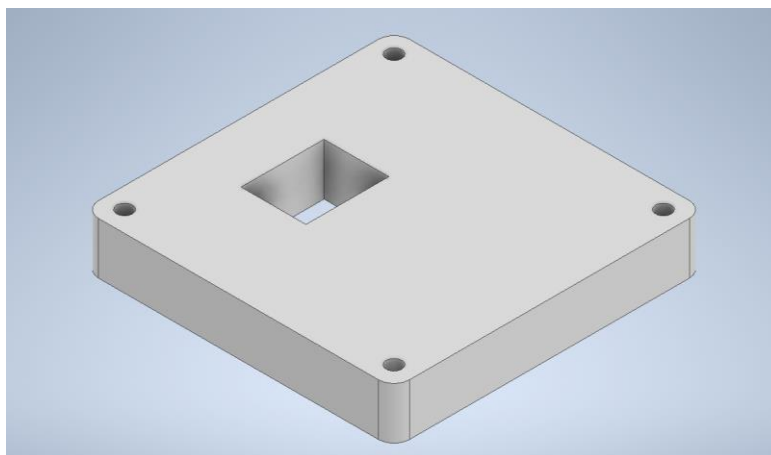


Рисунок 9. 3Д модель крышки для фиксации мотора.

Далее выполним сборку всех полученных компонентов, чтобы проверить правильность проектирования всех компонентов. В сборке будут участвовать все приведенные выше модели в единичном экземпляре, за исключением ведущей шестерни. Их будет участвовать в сборке 3 шт. Сборка мехатронного модуля представлена на рисунке 10.

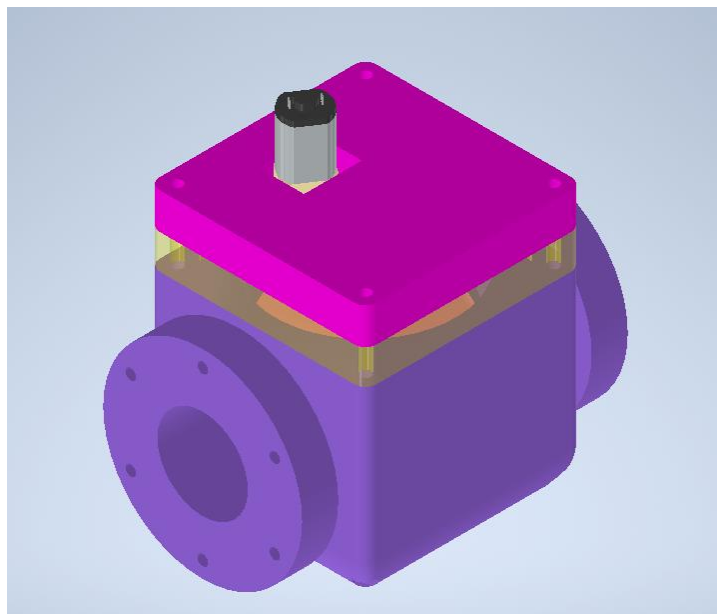


Рисунок 10. 3Д Сборка мехатронного модуля контроля трубопровода.

Таким образом этап разработки 3Д моделей завершен. Полученных моделей для реализации прототипа будет достаточно. В дальнейшем можно будет

добавить различные резиновые уплотнители и прокладки для исключения возможных протечек. Сейчас же изготовить такие уплотнители по размерам не позволит технологическое обеспечение проекта.

Средства производства, имеющиеся в наличии: 3Д-принтер и станок для лазерной резки. Детали для прототипа будут изготовлены на 3Д принтере с целью проверки возможности реализации такого механизма. Теперь необходимо переходить к формированию электронной схемы для работы этого устройства.

2.2 Разработка электронной схемы мехатронного модуля системы контроля трубопровода.

Прежде чем формировать саму электронную схему, необходимо осуществить выбор комплектующих. В прототипе проекта в качестве электромеханического элемента уже выбран мотор-редуктор GA12-N20. Соответственно, комплектующие для управления этим мотором будем подбирать исходя из того, что в дальнейшем может быть использован более мощный двигатель. Чтобы схему не пришлось переформировывать, комплектующие будут выбраны с запасом.

Для реверсивного управления электродвигателем постоянного тока, как правило, используют устройства, которые называются драйверами. Двигатель N20 использует для работы от 3 до 6 [В] питания, чтобы обеспечить нормальные режимы работы. Также важно учитывать, что драйвер должен обеспечивать возможность управления устройством по скорости. Чтобы обеспечить выполнение всех этих требований, используем в проекте драйвер l298n. Этот драйвер может обеспечивать питанием устройства с напряжением от 3-х до 12-ти [В] и предоставляет возможность управления этими двигателями по скорости. Изображение этого драйвера приведено на рисунке 11.

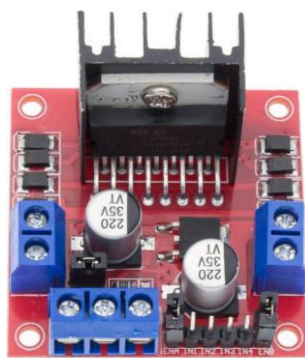


Рисунок 11. Драйвер L298n для управления двигателем постоянного тока.

Чтобы работать с таким драйвером и управлять мотором, потребуется управляющее устройство. В качестве такового предлагается использовать плату Arduino UNO для обеспечения простого подключения и работы с этим драйвером. В качестве дополнительного разветвителя для портов в прототипе будет использована беспаячная макетная плата. Плата Arduino UNO с макетной платой приведена на рисунке 12.

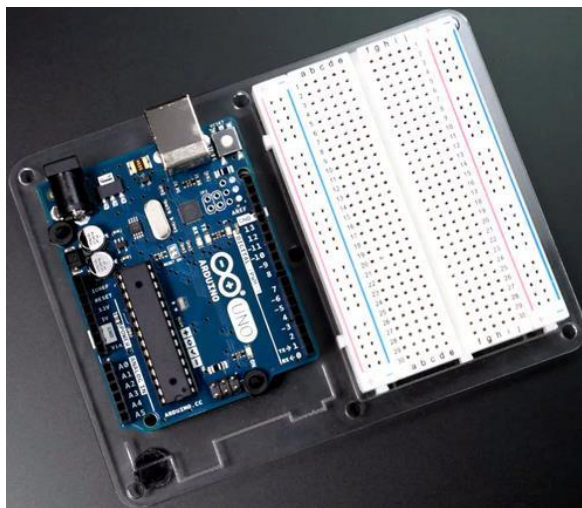


Рисунок 12. Управляющая плата Arduino UNO (слева на рисунке) с беспаячной макетной платой (справа на рисунке).

Также, для работы системы, необходимо использовать контролирующие устройства. В этом проекте потребуется всего два датчика: датчик расхода

жидкости и датчик давления жидкости. Они будут установлены последовательно друг за другом, причем так, чтобы датчик давления был сразу на выходе из мехатронного модуля движения, а датчик расхода жидкости стоял следом за ним.

В качестве датчика давления используем датчик MS5803-07BA. Он используется для измерения давлений до 7 бар. В дальнейшем будет разработано решение, которое будет устанавливаться на фланец трубы. Изображение используемого датчика приведено на рисунке 13.

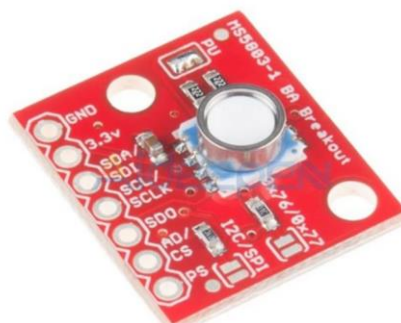


Рисунок 13. Датчик давления жидкости MS5803-07BA.

В качестве датчика расхода жидкости используем FS200A G1/2. Этот датчик может работать на скорости от 1 до 30 л/мин, что вполне удовлетворит требования для создания прототипа и позволит получать достаточно точные и достоверные данные. Датчик FS200A G1/2 приведен на рисунке 14.



Рисунок 14. Датчик расхода жидкости FS200A G1/2.

С учетом полностью подобранных используемых компонентов можем построить электронную схему для работы с этими устройствами. Для этого используем программное обеспечение Fritzing. Это программное обеспечение позволяет строить визуальные и принципиальные электронные схемы. На данном этапе построим визуальную электронную схему подключения компонентов и приведем ее на рисунке 15.

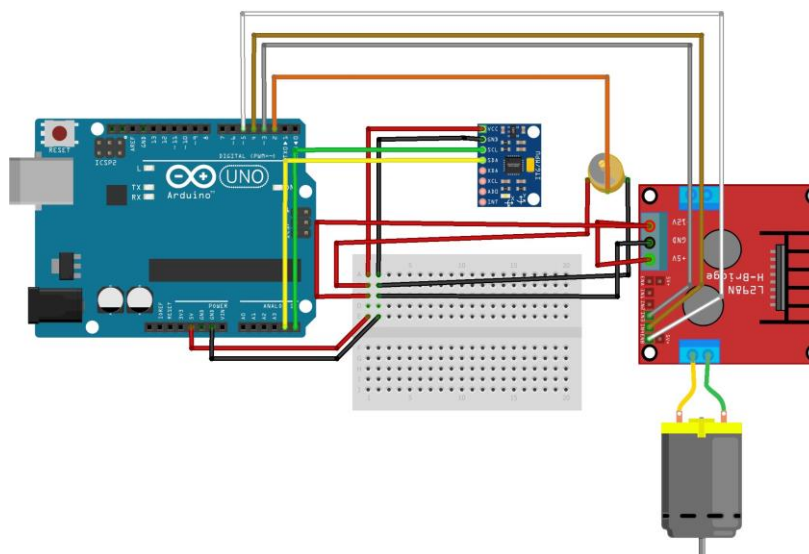


Рисунок 15. Электронная схема мехатронного модуля контроля трубопровода.

В качестве элемента синего цвета подразумевается датчик давления MS5803-07BA, в качестве желтого, трехпроводного – датчик расхода жидкости FS200A G1/2. Таким образом электронная схема сформирована, теперь можем переходить к синтезу системы управления и алгоритмизации ее работы.

2.3 Синтез системы управления и алгоритмизация ее работы мехатронного модуля системы контроля трубопровода.

Система должна управляться с помощью нечеткой логики. Такое управление подразумевает фазификацию и дефазификацию контролируемых параметров и последующую обработку их в нечетком контроллере, который будет выдавать управляющие воздействия на мотор. В качестве контролируемых параметров с датчиков получаем расход жидкости (из которого дополнительно вычисляем скорость изменения потока жидкости для более плавного управления) и давление жидкости. Структурная схема такой системы приведена на рисунке 16.

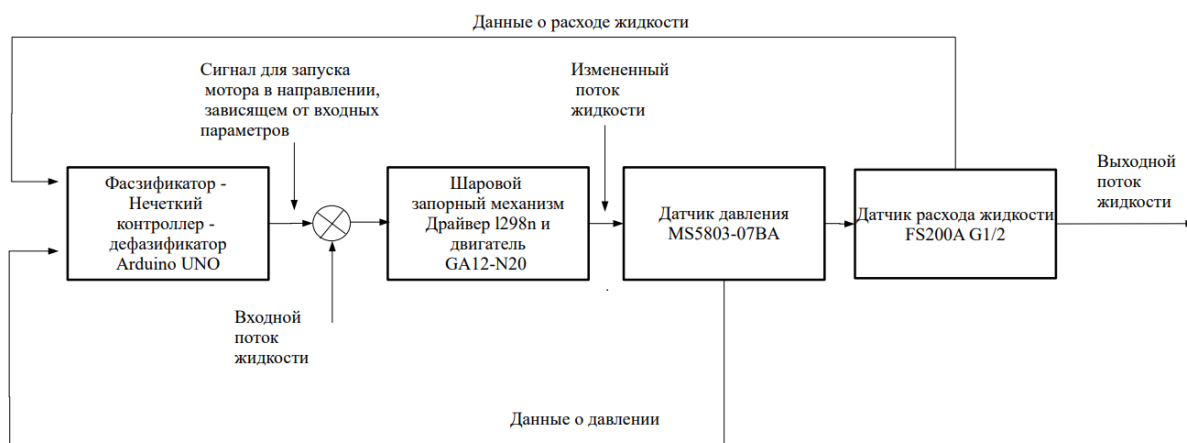


Рисунок 16. Структурная схема работы мехатронного модуля контроля трубопровода.

Каждому из контролируемых параметров будет присвоен лингвистический терм «НИЗКИЙ», «СРЕДНИЙ» и «ВЫСОКИЙ». Система должна поддерживать состояние «СРЕДНИЙ» на всех трех параметрах.

Так, например, когда давление имеет значение «ВЫСОКИЙ», то при его убавлении может вырасти расход жидкости, поэтому давление должно быть стабилизировано так, чтобы значение потока имело «СРЕДНИЙ» уровень. Общий принцип принятия решений в данной системе отражен в таблице

Таблица 2. Комбинации получаемых лингвистических данных и вердикты системы.

Данные о давлении	Данные о потоке	Вердикт системы
«НИЗКИЙ»	«НИЗКИЙ»	«СТОП»
	«СРЕДНИЙ»	«ЗАКРЫТИЕ» (трубы)
	«ВЫСОКИЙ»	«ЗАКРЫТИЕ» (трубы)
«СРЕДНИЙ»	«НИЗКИЙ»	«ОТКРЫТИЕ» (трубы)
	«СРЕДНИЙ»	«СТОП»
	«ВЫСОКИЙ»	«ЗАКРЫТИЕ» (трубы)
«ВЫСОКИЙ»	«НИЗКИЙ»	«ОТКРЫТИЕ» (трубы)
	«СРЕДНИЙ»	«ЗАКРЫТИЕ» (трубы)
	«ВЫСОКИЙ»	«СТОП»

Важно обратить внимание на то, что, если термы совпадают, то поток жидкости не поддается регулированию. Этот момент очень важен, так как не зависит от работы самой системы (речь не идет о комбинации «СРЕДНИЙ»-«СРЕДНИЙ» - это как раз является идеальным результатом), а зависит от параметров входного потока.

Также в этой работе участвует скорость изменения потока, которая не нашла отражения в таблице 2. Этот момент не случаен, так как скорость изменения потока жидкости влияет только на скорость операций «ОТКРЫТИЯ» или «ЗАКРТИЯ» и также зависит от давления жидкости. Комбинации получаемых лингвистических данных и вердикты системы, связанные со скоростью выполнения операций приведены в таблице 3.

Таблица 3. Комбинации получаемых лингвистических данных и вердикты системы, связанные со скоростью выполнения операций.

Данные о давлении	Данные о скорости изменения потока	Вердикт системы по скорости
«НИЗКИЙ»	«НИЗКИЙ»	«УВЕЛИЧИТЬ» (скорость)
	«СРЕДНИЙ»	«УВЕЛИЧИТЬ» (скорость)
	«ВЫСОКИЙ»	«НЕ ИЗМЕНЯТЬ»
«СРЕДНИЙ»	«НИЗКИЙ»	«УВЕЛИЧИТЬ» (скорость)
	«СРЕДНИЙ»	«НЕ ИЗМЕНЯТЬ»
	«ВЫСОКИЙ»	«УМЕНЬШИТЬ» (скорость)
«ВЫСОКИЙ»	«НИЗКИЙ»	«НЕ ИЗМЕНЯТЬ»
	«СРЕДНИЙ»	«УМЕНЬШИТЬ» (скорость)
	«ВЫСОКИЙ»	«УМЕНЬШИТЬ» (скорость)

Таким образом отметим, что, чем выше давление, тем ниже должна быть скорость открытия и закрытия шарового запирающего механизма. Система логически верна и оценена экспертом, как работоспособная, что в дальнейшем позволит реализовать её уже на реальном объекте, так как создание прототипа имеет цели проверки работоспособности механизма, с которой успешно справился.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном проекте была проверена возможность реализации мехатронного модуля контроля давления, потока и скорости изменения потока в трубопроводе. Результатом работы являются 3Д модели, построенные в программе Autodesk

пуском мотора, который показывает, что механизм спроектирован верно. Составлена электронная схема в среде формирования визуальных электронных схем Fritizing. Подготовлена структурная схема с функциональными связями данной системы. А также подготовлены экспертные таблицы, отражающие алгоритм принятия решений в адаптивной системе управления.

Анализ затрат на проект подтверждает, что такие проекты будут актуальны, и в свете современных технологий, будут не слишком дорого обходиться рядовым гражданам, что позволит вывести его на широкий рынок. Приблизительная стоимость проекта – не более 2000 рублей без учета оплаты труда сотрудников. Оценка стоимости произведена исходя из стоимости комплектующих и приблизительной стоимости печати. С учетом постоянно растущих цен, в том числе и на коммунальные услуги, прибор, который позволит оптимизировать затраты воды, будет актуален на рынке еще долгое время.

4. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к
принятию приближенных решений. — М.: Мир, 1976. — 166 с.

2. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. — М.: Радио и
связь, 1982. — 432 с.

3. Г.В. Масютина, В.Ф. Лубенцов «Структурно-параметрический
синтез адаптивной системы управления на основе нечеткой логики».

Э

Л

Б

К

Т

Р

С

Н

А

У

Ж

Е

Р

И

С

У

Р

С

А

Б

А

З

Е

4. А.Б. Сорокин «Моделирование работы системы управления

5. «G12-N20 Geared Mini DC Motor»

<http://www.handsontec.com/dataspecs/GA12-N20.pdf>

Дата обращения:

13.03.2021

Дата обращения: 13.03.2021