

Краевой конкурс учебно-исследовательских и проектных работ учащихся
«Прикладные вопросы математики»

Прикладные вопросы математики

**Разработка автоматической системы водоснабжения
сельского дома**

Сокольчик Дарья,
МОУ «Гимназия №6» г. Пермь, 9 кл.
Ярусова Ирина Владимировна,
учитель физики
Воронина Татьяна Александровна,
учитель информатики
МОУ «Гимназия №6» г. Пермь

Оглавление

Введение	2
Основная часть.....	3
Понятие систем жизнеобеспечения и их место в системе «Умный дом»	3
Требуемые свойства системы водоснабжения	4
1.1. Разработка гидравлической системы	5
1.1.1. Выбор насоса.	7
1.1.2. Системы транспортировки воды.	9
1.2. Разработка логики работы системы	11
1.3. Разработка электрической схемы	13
1.3.1 Разработка схемы управления на основе электромагнитных реле.	14
Заключение.....	15
Список используемых источников	16
Приложение А.	17
Приложение Б. Принципиальная электрическая схема реле уровня.....	18

Введение

В настоящее время человек стремится передать рутинные скучные операции средствам автоматизации. Средства автоматизации проникают не только в производство, но и в быт людей. Это коммуникационные системы (телефония, компьютерные сети, системы оповещения, системы «умного дома» и др.). Такие системы автоматизации предполагают совместное решение задач, относящихся к разным наукам: физике, математике, химии, информатике и др. Так, например, задачи, решаемые при проектировании «умного дома», предполагают управление потоками воды, электроэнергии, определение наличия людей (с исключением влияния домашних животных), обработке информации об этих явлениях и другое. Предполагается большое количество использования датчиков, использующих различные физические принципы программирования вычислительной техники. Настоящая работа посвящена одной из подзадач «умного дома» - управление гидросистемой подачи воды на бытовые нужды в условиях сельского дома.

Цель: Разработать систему автоматизированного водоснабжения сельского дома.

Задачи:

- Разработать общую архитектурную систему водоснабжения сельского дома
- Разработать гидравлическую систему
- Разработать систему управления

Методы: проектирование, моделирование

Основная часть

Понятие систем жизнеобеспечения и их место в системе «Умный дом»

Системы жизнеобеспечения являются составляющей каждого здания. Квартиры, дома, офисы – все помещения, посещаемые людьми, оснащены инженерными системами. Основное предназначение таких систем состоит в том, чтобы сделать сооружения пригодным для жизнедеятельности человека, а также создать комфортные условия для жизни и работы.

Жизнь современного человека невозможно представить без ресурсов, обеспечивающих комфортную среду – воды, света, тепла, газа и свежего воздуха. Инженерные сети обеспечивают условия внутри помещения, снабжая здания электроэнергией, осуществляя воздухообмен, поступление и отведение воды и т.д.

К основным системам жизнедеятельности относятся: водоснабжение, отопление, система вентиляции, канализационная система, энергоснабжение и проч.

Инженерные системы подразделяются на домашние и промышленные. Их проектирование и монтаж осуществляется в зависимости от назначения и будущих условий эксплуатации.

В наш век современных технологий инженерные сети автоматизируются, проводится мониторинг их работы. Например, осуществляется учет подачи воды в здание, учитывается потребление электричества, функционируют системы оповещения работы инженерных систем.

К системам жизнеобеспечения относят также: системы безопасности, системы кондиционирования, охранно-пожарная сигнализация и многое другое. Данные инженерные системы не являются основными, т.к. без них условия жизни современного человека остаются приемлемыми, они призваны сделать жизнедеятельность еще более комфортной и безопасной.

Таким образом, инженерные сети можно подразделить на классические системы и дополнительные. Классические системы присутствуют в каждом здании, где пребывают люди, независимо от его предназначения. Дополнительные системы важны и полезны, они являются показателем высокого уровня жизни современного человека, но без них комфортное существование в помещении возможно.

Остановимся подробнее на рассмотрении классических инженерных систем, которые также являются непременной составляющей концепции «Умный дом».

Система вентиляции и кондиционирования необходима для поддержания достаточного количества свежего воздуха в помещении. Системы кондиционирования служат для повышения комфорта пребывания человека в здании. «Умный дом» осуществляет контроль состояния воздуха, как в жилых, так и служебных помещениях, включая проветривание тогда, когда в этом возникает необходимость.

Электричество – это свет и обогрев помещения, высокий уровень комфорта проживания в доме и на прилегающей к нему территории. Электроснабжение позволяет передать электричество от источников потребителям. Система подразделяется на три составляющие: источники электроэнергии (электростанции); распределительные устройства и электросети; потребители электроэнергии.

Система водоснабжения необходима в каждом помещении для осуществления подачи воды из наружных сетей в здание и вывода по канализационной системе. Системы водоснабжения подразделяются по назначению на хозяйственно-питьевое водоснабжение, производственное водоснабжение, поливочное водоснабжение и противопожарный водопровод. «Умный дом» заботится об оперативном отключении водоснабжения в случае возникновения аварийной ситуации в отсутствие человека, вовремя включит поливальные установки на лужайке возле дома или офиса и проч.

Канализационная система подразделяется на внутреннюю систему и наружную.

Современные инженерные системы достигли высокого уровня эксплуатационных характеристик. [3]

Требуемые свойства системы водоснабжения

Разрабатываемая система водоснабжения должна работать в условиях приусадебного участка и подавать воду из колодца в дом, баню и огород для полива растений. Эти потребители здесь и далее будут называться «дом» или потребитель 1, «баня» или потребитель 2, и «огород» или потребитель 3.

У каждого из потребителей стоит накопительный бак, заполнение которого является целью системы водоснабжения. В настоящее время заполнение баков ведется вручную ведром. Идеальный случай, когда система сама отслеживает объем воды и своевременно его пополняет (автоматический режим). Однако, такая система более сложная, и поэтому на данном этапе принимается решение разрабатывать автоматизированную систему водоснабжения, позволяющую подавать воду только по команде человека. После успешной эксплуатации этой системы в перспективе предусмотрена разработка автоматической системы водоснабжения.

Принципиально система должна выполнять следующие операции:

По команде человека-оператора (командой может являться нажатие кнопки) включается насос и вода подается именно тому потребителю, из которого была подана команда. Если в этот момент подается команда от другого потребителя, то вода подается и ему. Прекращение подачи воды обеспечивается командой (нажатие кнопки).

Такая схема имеет недостаток: человек может отвлекаться и после наполнения бака забыть или несвоевременно подать команду на отключение подачи воды. Это может привести к следующим негативным последствиям:

разлив воды в доме, разуплотнение труб (в случае использования герметичного бака), перерасход воды, электроэнергии. Поэтому необходимо предусмотреть защиту. При заполнении бака подача воды потребителю должна быть прекращена автоматически, независимо от того, подал человек команду на отключение или нет. Для этих целей необходимо сконструировать специализированные реле уровня, выдающие сигнал при достижении уровня в баке заданного предела.

Схема должна иметь возможность развиваться и при необходимости работать с увеличенным количеством каналов.

Общая структура управления представлена на рис. 1.

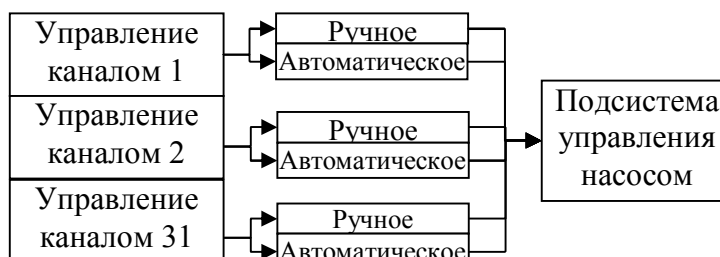


Рисунок 1 – Структурная схема системы подачи воды

Схема реле уровня приведена в приложении Б. Распределение потоков можно осуществлять с помощью клапанов с электромагнитным управлением. Для бытовых целей в условиях приусадебного хозяйства подойдут клапаны, используемые в бытовых стиральных машинах.

Для реализации проекта необходимо выполнить следующие работы:

1. разработать логику функционирования системы, выполнить модель логической схемы;
2. разработать конструкцию гидравлической системы;
3. разработать простую схему аппаратурного управления для тестирования практического применения системы;

1.1. Разработка гидравлической системы

Гидравлическая система должна обеспечивать подъем воды из колодца и передача ее по трем разным направлениям:

- в дом для бытовых нужд
- в баню
- в огород для полива

Общий план желаемой гидравлической системы представлен на рисунке 2.

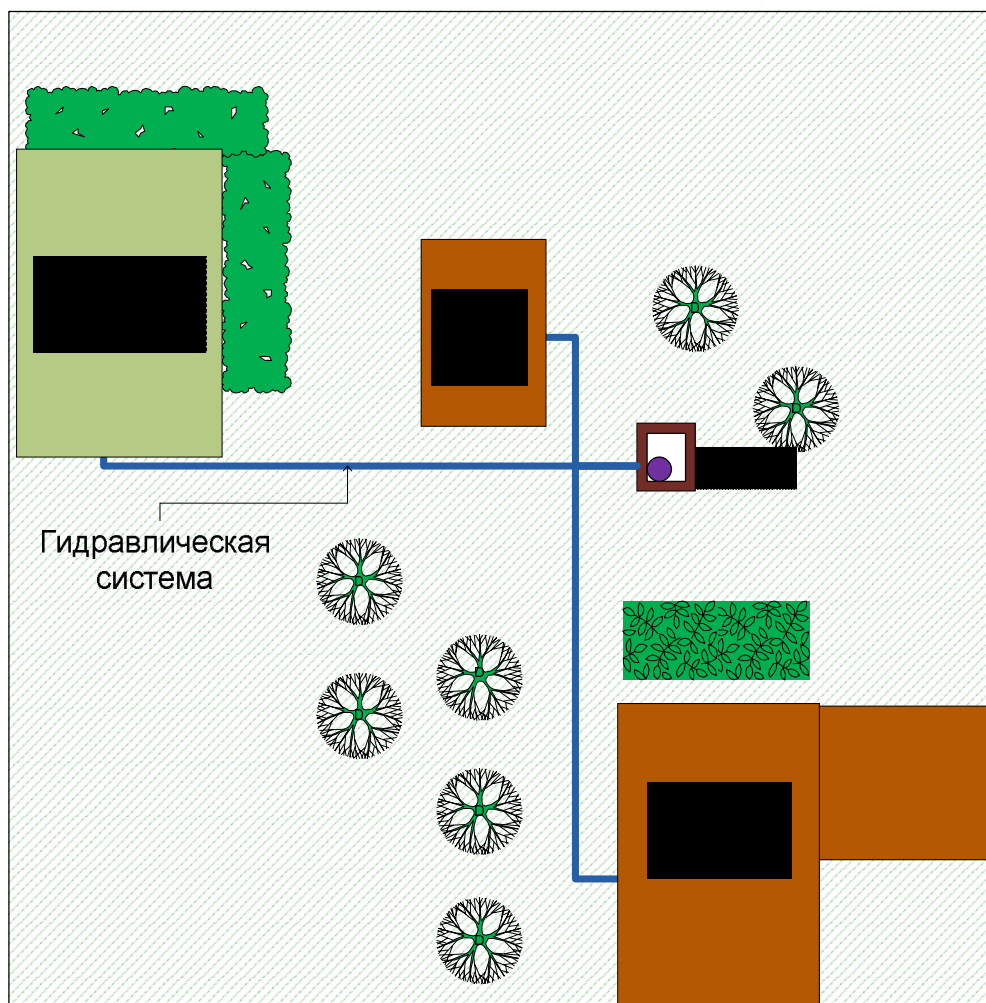
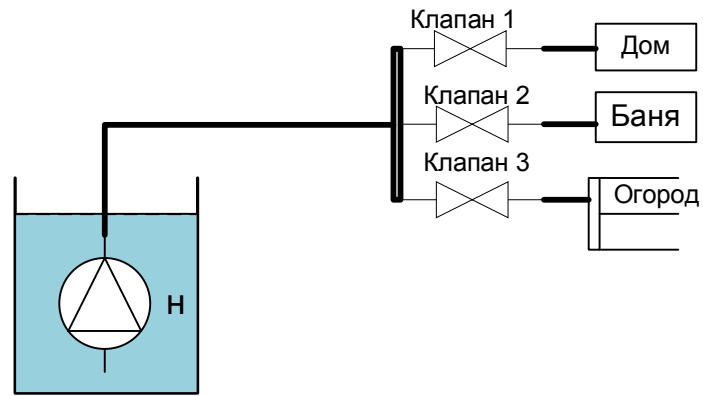


Рисунок 2 – План расположения потребителей системы подачи воды

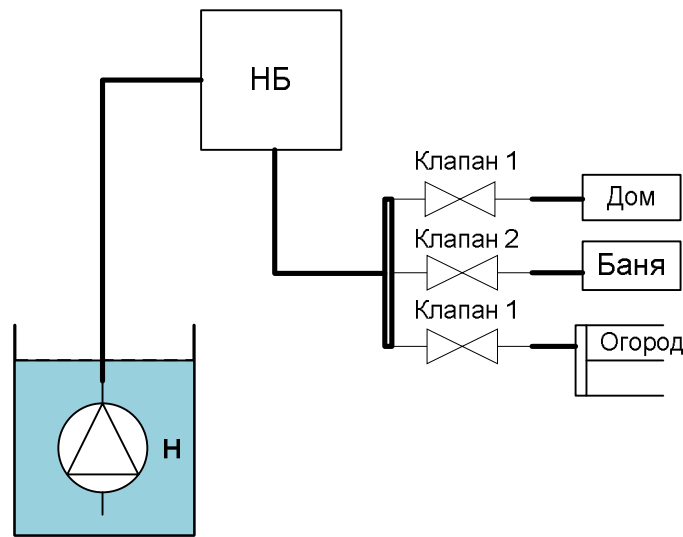
Предполагается ввод гидравлической системы в два этапа:

1. без накопительного бака
2. с накопительным баком

Ввод в два этапа обусловлен экономическими соображениями, т.к. стоимость накопительного бака существенна. Предполагается для подъема воды из колодца использовать насос, а для подачи воды потребителю «дом», «баня», «огород» использовать дешевые полиэтиленовые трубы. Принципиальная схема представлена на рис. 3.



а



б

Рисунок 3 – Гидравлическая схема системы подачи воды: а – без накопительного бака, б – с накопительным баком

1.1.1. Выбор насоса.

С помощью грузика на нитке произведено измерение глубины колодца. Измерение проводилось в наихудших условиях (засушливое лето). Глубина колодца от поверхности до края 12 метров.

Существует две бытовые системы подачи воды: с помощью насоса – насос находится в воде (погружной насос), и насос находится над поверхностью воды (центробежный насос). В первом случае всасывающий трубопровод отсутствует, а высота трубопровода на выкиде равна требуемой высоте подъема $H = h_n$. Во втором случае длина трубопровода всасывания и трубопровода нагнетания равна общему подъему воды: $H = h_g + h_n$.

Крепить центробежный насос внутри колодца сложно технически, а на поверхности колодца невозможно, т.к. при превышении длины всасывающего трубопровода более 10 метров происходит разрыв потока.

Нормальным атмосферным давлением называют давление в 760 мм рт.ст. на уровне моря при температуре 15°C (международная стандартная атмосфера - МСА) ($P_{\text{атм}}=101325$ Па). При этом давление столба жидкости

$$P = \rho g H$$

где P – максимальное давление столба жидкости, ρ – плотность жидкости, g – ускорение свободного падения, H – высота столба жидкости

Максимальная высота водяного столба при нормальном атмосферном давлении

$$H = \frac{P}{\rho g} = \frac{101325}{1000 * 9.81} \approx 10,33 \text{ м}$$

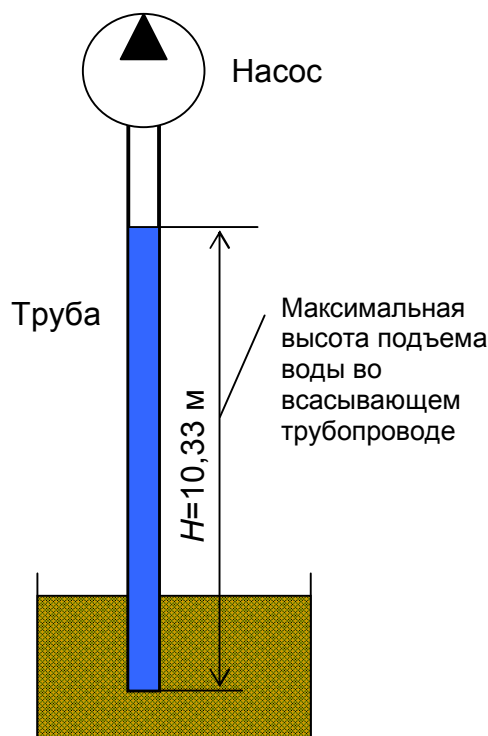


Рисунок 4 - Пояснение ограничения длины всасывающего трубопровода

Таким образом, наиболее простым вариантом является использование погружного насоса, высота напора которого составляет $h_{\text{max}}=40$ м. Объемная подача $Q=432$ л/ч обеспечивает нужды приусадебного хозяйства.



Рисунок 5 – Используемый в работе бытовой погружной насос «Малыш»

Техническое описание насоса приведено в приложении А.

1.1.2. Системы транспортировки воды.

В качестве трубопровода можно использовать:

- стальные трубы
- металлопластиковые трубы
- полиэтиленовые трубы
- резиновые шланги
- поливинилхлоридные шланги.

1.1.2.1 Выбор материала трубы

Достоинства и недостатки этих материалов приведены в таблице.

Материал	Пример	Достоинства	Недостатки
стальные трубы		Прочность	Высокая стоимость; Сложность монтажа
металлопластиковые трубы		Прочность; Простота монтажа; доступность	Высокая стоимость
полиэтиленовые трубы		Низкая стоимость; простота монтажа; доступность	Нестойкость к холоду
резиновые шланги		Доступность	Сравнительно высокая стоимость; нестойкость к холоду; дополнительные требования к прокладке
поливинилхлоридные шланги		Низкая стоимость; доступность	Нестойкость к холоду; дополнительные требования к прокладке

Для реализации системы наиболее целесообразно использование полиэтиленовых труб.

1.1.2.2 Расчет диаметра трубопровода.

Чем меньше диаметр труб, тем дешевле система, но при этом при малой толщине будет высокое гидравлическое сопротивление, и насос будет работать с перегрузом. Для расчета использована диаграмма «характеристика насоса» и «характеристика трубопровода». Характеристика насоса предоставлена производителем (рис.7).

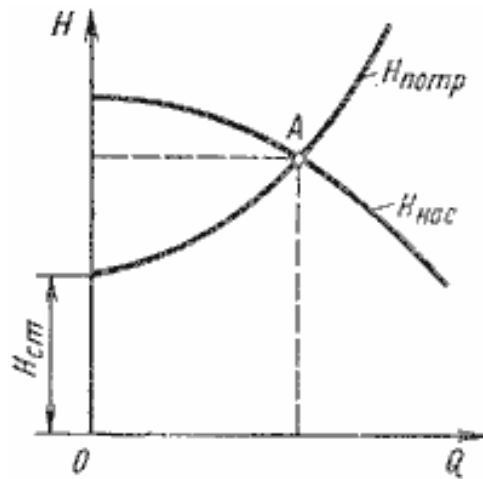


Рисунок 6 – Совместные характеристики «подача-напор» трубопровода и насоса

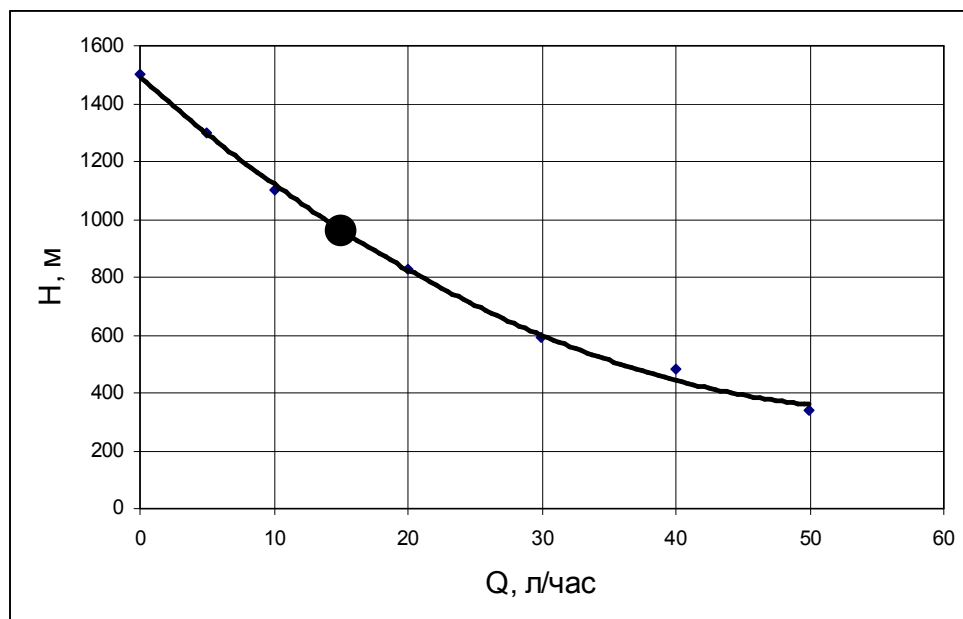


Рисунок 7 – Характеристика насоса «Малыш»

Для упрощения расчета примем желаемую линейную скорость перемещения воды по трубе $v=1$ м/с. Для самого худшего случая (подача осуществляется только одному потребителю) выполнен расчет минимального диаметра трубопровода, обеспечивающего линейную скорость не более 1 м/с.

Максимальная объемная подача насоса (паспортная) $Q=432$ л/ч, что составляет $Q=0.00012$ м³/с. Однако для предполагаемого в эксплуатации требуемого напора $H=15$ м по характеристике насоса (рис.7) подача будет составлять 960 л/час ($Q=0,0003$ м³/с).

Объемный расход

$$Q = v \cdot F \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{с}},$$

где F – площадь поперечного сечения трубы.

Для круглой трубы

$$F = \frac{\pi d^2}{4} \text{ м}^2,$$

где d – внутренний диаметр трубопровода.

Искомая площадь поперечного сечения должна быть не менее чем

$$F = \frac{Q}{v} = \frac{0.0003}{1} = 0.00027 \text{ м}^2,$$

откуда минимальный диаметр трубы

$$d = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot F} = \sqrt{\frac{4}{3.14} \cdot 0.00027} = 0.018 \text{ м или } d = 18 \text{ мм}.$$

Полученное значение в дюймовой системе составляет 3/4 дюйма (19 мм). Трубы данного диаметра являются достаточно дешевыми по сравнению с большим диаметром.

1.2. Разработка логики работы системы

Для формализации задачи и построения алгоритма работы системы введем следующие обозначения:

- нажатие кнопок «Пуск» обозначим тройкой $x_{1.1}$, $x_{1.2}$, $x_{1.3}$ соответственно нажатию кнопки «Пуск» первого, второго, третьего потребителя;
 - нажатие кнопки «Стоп» обозначим тройкой $x_{2.1}$, $x_{2.2}$, $x_{2.3}$ соответственно нажатию кнопки «Стоп» первого, второго, третьего потребителя.
- Срабатывание датчика уровня обозначим тройкой $x_{3.1}$, $x_{3.2}$, $x_{3.3}$ соответственно срабатыванию датчиков уровня первого, второго, третьего потребителя.

Результат работы схемы – включение нагрузки обозначим:

- y_0 – включение насоса;
- y_1 , y_2 , y_3 – соответственно, включение клапана для первого, второго, третьего потребителя.

Для входных величин: «1» – включение устройства (подача сигнала); «0» – отключение устройства (нет сигнала).

Для выходных величин аналогично: «0» – устройство обесточено, выключено (клапаны закрыты, насос не работает); «1» – включение устройства, подача напряжения (клапаны открыты, насос работает).

При программировании все переменные имеют тип логический (Boolean)

«1» – соответствует состояние «Истина» («True»);

«0» – соответствует состояние «Ложь» («False»).

Логические условия включения нагрузки:

Включение для одного потребителя:

```

if  $x_{11}$  then  $y_0:=1$ ,  $y_1:=1$ 
if  $x_{12}$  then  $y_0:=1$ ,  $y_2:=1$ 
if  $x_{13}$  then  $y_0:=1$ ,  $y_3:=1$ 

```

Включение для двух потребителей:

```
if x11 & x12 then y0:=1, y1:=1, y2:=1
if x11 & x13 then y0:=1, y1:=1, y3:=1
if x12 & x13 then y0:=1, y2:=1, y3:=1
```

Включение для трех потребителей:

```
if x11 & x12 & x13 then y0:=1, y1:=1, y2:=1, y3:=1
```

Данные условия должны выполняться совместно. Их выполнение примем как одновременное. Наиболее целесообразно записать общие условия в следующей форме:

```
if x11 then y1=1
if x12 then y2=1
if x13 then y3=1
if x11 or x12 or x13 then y0:=1
```

Логические условия отключения нагрузки:

Для одного потребителя:

```
if x21 or x31 then y0:=0, y1:=0
if x22 or x32 then y0:=0, y2:=0
if x23 or x33 then y0:=0, y3:=0
```

Для двух потребителей:

```
if x21 or x31 & x22 or x32 then y0:=0, y1:=0, y2:=0
if x22 or x32 & x23 or x33 then y0:=0, y2:=0, y3:=0
if x21 or x31 & x23 or x33 then y0:=0, y1:=0, y3:=0
```

Для трех потребителей

```
if x21 or x31 & x22 or x32 & x23 or x33 then y0:=0, y1:=0, y2:=0, y3:=0
```

Логические высказывания для отключения нагрузки не являются ошибочными, однако не подходят для управления системой, так как при их выполнении насос отключится для всех потребителей даже если сработала команда на отключение только одного из них. Поэтому высказывания целесообразно записать в следующей форме:

```
if (x21 or x32) & (x22 or x32) & (x23 or x33) then y0:=0
if x21 or x31 then y1=0
if x22 or x32 then y2=0
if x23 or x33 then y3=0
```

Таким образом, логика работы схемы следующая.

В исходном состоянии (после подачи питания на схему) двигатель не работает (выключен), клапаны K_1 K_2 K_3 закрыты (обесточены). При нажатии кнопки «Пуск» одного из потребителей (первого потребителя «Дом») (обозначение события $x_{1.1}$) открывается клапан K_1 и одновременно с этим включается насос. Вода поступает потребителю 1. Если потребитель нажмет кнопку «Стоп» или бак заполнится и сработает реле уровня, то двигатель остановится, а клапан K_1 закроется.

Теперь рассмотрим ситуацию, когда вода понадобилась сразу двум потребителям.

Потребитель 1 нажимает кнопку «Пуск», открывается клапан K_1 (событие y_1), и включается насос. В это время потребитель 2 включает кнопку «Пуск» (формальное обозначение события $x_{1,2}$). Откроется клапан K_2 , а насос уже включен. Если в этот момент потребитель 1 нажмет кнопку «Стоп» (событие $x_{2,1}$), в этом случае закроется клапан K_1 , а насос останется включенным и через открытый клапан K_2 будет подавать воду второму потребителю. Насос выключится только тогда, когда все потребители дадут сигнал на его выключение. При этом сигнал можно подать либо кнопкой «Стоп», либо срабатыванием «Реле уровня».

1.3. Разработка электрической схемы

Для практической реализации требуемой схемы управления гидравлической системой можно использовать реализацию логики:

1. на электромагнитных реле
2. на логических сборках (микросхемах)
3. программная реализация на микропроцессорном контроллере

Рассмотрим достоинства и недостатки каждого подхода:

1. Реализация на реле имеет ряд недостатков, связанных с механическими контактами. Они могут обгорать, залипать, окисляться. Однако, такой подход имеет ряд преимуществ, очень важных в данной работе. Это простота сборки, доступность и дешевизна элементов и возможность ремонта с системой. Кроме того, схема, выполненная с помощью реле, практически не чувствительна к электромагнитным помехам и скачкам напряжения.

2. Реализация на логических микросхемах. Данный подход лишен недостатков, присущих электромагнитным реле (минимум подвижных контактов). Сами радиодетали достаточно дешевые. Однако, после сборки возможность эксперимента с системой, модернизации отсутствует. Любая модернизация фактически представляет собой изготовление системы управления заново.

3. Реализация на микропроцессорном контроллере. Этот подход имеет огромные возможности по эксперименту с системой, настройке, внедрению новых функций. Однако такой подход также имеет недостатки. Во-первых, высокая стоимость радиодеталей (особенно микропроцессорного контроллера), трудоемкость монтажа элементов, необходимость в молниезащите системы.

Исходя из достоинств и недостатков каждого подхода, принято следующее решение на первом этапе проектировать и монтировать систему на электромагнитных реле как наиболее простой и дешевый вариант, и в случае, если система полива будет эффективна и востребована, релейный блок управления заменить на микропроцессорный без переделки всей системы.

1.3.1 Разработка схемы управления на основе электромагнитных реле.



Рисунок 8 – Принципиальная электрическая схема управления на электромагнитных реле

Заключение

В работе выполнен проект одной из подсистем жизнеобеспечения, снабженной элементами «умного дома».

Результаты работы:

- Выполнена постановка задачи на подсистему водоснабжения сельского дома.
- Выполнен подтвержденный расчетами выбор аппаратного оформления (насос, трубопровод и др.).
- Разработан желаемый алгоритм работы системы, представленный в виде логических высказываний.
- Выполнен анализ возможного оформления электрической схемы управления.
- Разработана простейшая электрическая схема управления системы водоснабжения.

Список используемых источников

1. А. Н. Плановский, В. М. Рамм, С. З. Каган Процессы и аппараты химической технологии, издание пятое, стереотипное, М., Издательство Химия, 1968 г.
2. Эгильский И. С. Автоматизированные системы управления технологическими процессами подачи и распределения воды. Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1988
3. Elit Systems. Системная интеграция. Системы жизнеобеспечения <http://www.elite-systems.ru/main/integration/life-support/index.htm>
4. Техническое описание насоса «Малыш»
5. Гордин А. Б. Юному радиолюбителю Среднеуральское книжное издательство, 1989.

Приложение А.

Погружной насос «Малыш» (<http://www.magazin-vnii.ru/elektronasos.html>)

Погружные электронасосы «Малыш» являются распространенными устройствами для поднятия воды из трубных скважин диаметром более 100 мм, а также колодцев и бассейнов. Они способны обеспечить водой большую площадь. Насос «Малыш» прост в эксплуатации и использовании. Насосу не требуется сложный монтаж: насос способен начать работу сразу после погружения в воду. Для более четкого контроля, функционал электронасоса снабжен специальной защитой от перегрузок.

Применение погружных насосов Малыш:

- Подъем воды из скважин;
- Водоснабжение и орошение полей, огородов и фермерских хозяйств;
- Обеспечение питьевой водой жилых участков;
- Откачка воды из затоплены помещений.

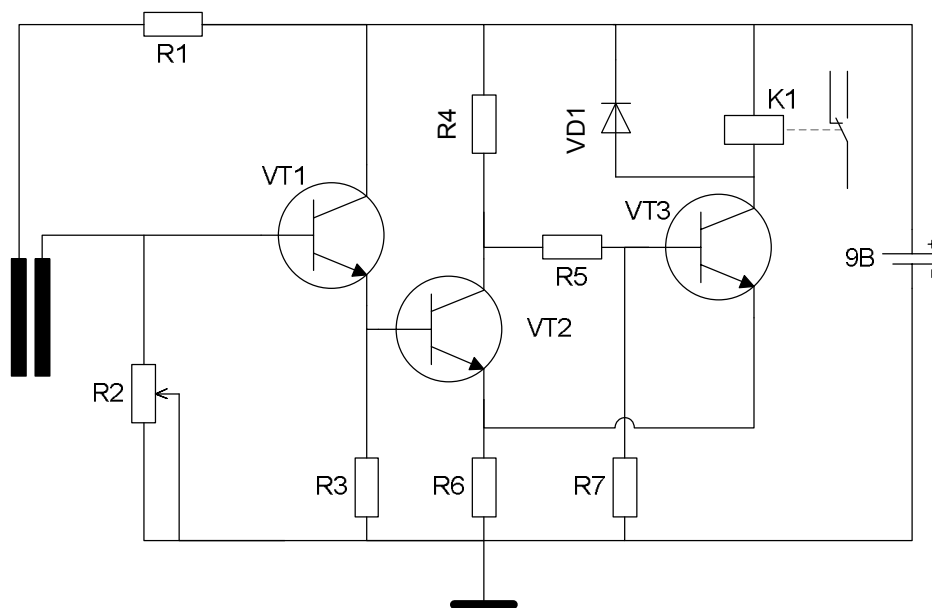
Технические характеристики насоса «Малыш»

Потребляемая мощность	280 Вт
Оптимальная производительность	450 л/час
Оптимальная производительность	7,5 л/мин
Оптимальная высота подъема	25 м
Минимальная высота подъема	1 м
Максимальная высота подъема	70 м
Длина шнура питания	25 м

Характеристика насоса

Высота, м	Объем подачи, л/час
0	1500
5	1300
10	1100
15	960
20	825
30	590
40	480
50	340

Приложение Б. Принципиальная электрическая схема реле уровня.



Поз.	Номинал	Поз.	Номинал
VT1	КТ315Г	R3	47к
VT2	КТ315Г	R4	10к
VT3	КТ602а	R5	4.7к
VD1	Д226	R6	47к
R1	47к	R7	47к
R2	1М	K1	РЭС-10 РС4.524.302