

Введение

Автоматизация производства – это применение автоматических и автоматизированных устройств и систем для полного или частичного освобождения человека от выполняемой им работы по управлению и контролю при получении, обработке, передаче и использовании энергии, материалов, информации и др. Автоматизация – одно из основных направлений научно-технического прогресса[1].

Механизация и автоматизация сельского хозяйства повышают производительность труда, способствуют увеличению выпуска сельскохозяйственной продукции, росту её качества. Эти процессы тесно связаны с применением индустриальной технологии производства в сельском хозяйстве, совершенствованием планирования и управления[1].

В рамках данной работы предметом исследования была выбрана автоматизированная кормовая станция для крупного рогатого скота (КРС). Кормление крупнорогатого скота является одним из наименее механизированных процессов, в то время как на него приходится 30-40% общих трудозатрат на ферме. Актуальность данной системы связана с малой эффективностью современных российских комплексов по содержанию коров: нехватка квалифицированных кадров, малый выход продукции, низкая производительность. Развитие и внедрение подобных технологий в России очень затруднено. Существуют зарубежные аналоги автоматизированных комплексов, но они, во-первых, дорогостоящие, во-вторых, необходимо техническое обслуживание, которое способен обеспечить только специалист из-за рубежа, что приводит к нежелательной остановке всего производства. Поэтому создание своего российского комплекса приведет к снижению трудоемкости производства, повышению эффективности содержания коров и исключению влияния человеческого фактора на производительность.

Разрабатываемая автоматизированная кормовая станция должна выдавать каждой корове определенный корм в заданном количестве в соответствии с рационом, составленным животноводом. На начальном этапе такая система должна включать в себя бокс и калитку, необходимые, чтобы другие коровы не мешали приему пищи, систему идентификации, чтобы определить корову и найти соответствие между ней и ее кормом, кормушку, куда будет поступать пища, дозатор, чтобы выдавать необходимое количество корма, и бункеры, где он будет храниться.

В настоящее время существует три основных способа организации автоматизированного кормления: кормовые станции, автоматизированная линия кормления, роботы-раздатчики кормов. Выбор способа зависит от типа содержания животных, например, использование кормовых станций, возможно только при беспривязном содержании, автоматизированная линия кормления подходит лишь для привязного содержания, а роботы-раздатчики могут использоваться как для животных на привязи, так и при беспривязном содержании.

В рамках данной работы разработана система идентификации и фиксации коровы. Задачей системы идентификации является распознавание коровы. Задача системы фиксации состоит в том, чтобы, если корова идентифицирована, для неё есть необходимый корм в бункерах, зафиксировать её, закрыв за ней калитку, что не даст возможности ей покинуть бокс, пока она ждет корм, и другим коровам помешать ей есть, занять ее место.

1. Обзор литературы

1. 1. Калитки

В сельском хозяйстве обычно применяются распашные калитки. Они используются для перегона животных, для регулирования потока, а также для закрывания. Все эти калитки схожи между собой.

В качестве материала для изготовления калиток используется металл, поскольку необходимо, чтобы калитка (и бокс, поскольку обычно и калитку, и ограду производят из одного металла) выдерживала воздействие, которое корова может оказать на неё, притом масса коровы доходит до 700кг. Преимущественно используется оцинкованная сталь либо нержавеющая.

1. Оцинкованная сталь.

Оцинкованный металл получил свое название за счет специализированного покрытия стального листа тонким слоем цинка, который предотвращает коррозию под воздействием влаги и кислорода. Перед покраской сталь должна «состариться» в течение 1-2 лет - это необходимо для выветривания в естественных условиях продуктов окисления и образования прочной цинковой патины. Кроме того, во время старения образуются шероховатости, благодаря которым краска будет держаться лучше[2].

Преимущества:

- Продолжительный срок службы. За счет обработки цинком с одной или с двух сторон изделия из оцинкованной стали мало подвержены износу.
- Устойчивость к химическим воздействиям и влиянию агрессивных сред.
- Низкая теплопроводность. Данное свойство наиболее важно при производстве кровельных материалов.
- Цена на оцинкованную сталь в рулонах является доступной для большинства производственных предприятий.

- Способность к вытяжке и высокая пластичность.
- Удобство в обработке. Форма металла и характер кромки могут легко изменяться такими способами, как сварка или резка[3].

2. Нержавеющая сталь.

Нержавеющая сталь – очень прочный материал. Благодаря содержанию хрома в составе сплава «нержавейка» обладает отличными антикоррозийными свойствами и устойчива к различным воздействиям окружающей среды. Главными достоинствами конструкций, выполненных из этого металла, являются следующие преимущества:

- Долговечность эксплуатации: от 45 – 50 лет.
- Прочность. Нержавеющая сталь устойчива к перепадам давления и может использоваться как при высоких, так и низких температурах.
- Гигиеничность. Материал не имеет пор и трещин, а значит, не способствует проникновению внутрь бактерий и грибков, а также имеет привлекательный внешний вид[2].

По своей конструкции калитки отличаются геометрическими параметрами (длина и ширина всей калитки, диаметр балки), а также балки соединяются по-разному между собой.

Рассмотрим конструкцию и параметры на примерах аналогов.

1. Защитные ограждения и ворота Rolstal Pawlowski.

Компания Rolstal Pawlowski была создана в 1989 году и является ведущим польским производителем стальных конструкций и оборудования для животноводства.

Одной из разработанных ими калиток является калитка для перегона FP-1 (рисунок 1).



Рисунок 1 – Калитка для перегона FP1

Технические данные калитки для перегона FP1:

- две горизонтальные трубы;
- высота калитки 80см;
- петли на трубы: 76,1мм; 114,3мм; 133мм; 159мм;
- возможно прикрепление к стене;
- оцинкованная сталь.

2. Защитные ограждения и ворота JOURDAIN.

Фирма JOUEDAIN – французская фирма, занимающаяся изготовлением металлических конструкций для сельского хозяйства.

Одна из конструкций их ворот приведена на рисунке 2.

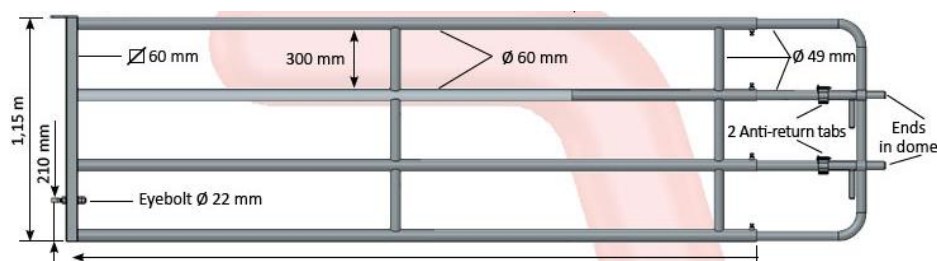


Рисунок 2 – Металлические ворота фирмы JOURDAIN: eyebolt – болт с петлей, anti-return tabs – противовозвратные контакты, ends in dome - колпаки

Некоторые геометрические параметры приведены на рисунке. В качестве материала данная фирма также использует оцинкованную сталь. В линейке данной модели приведены габаритные размеры и масса (таблица 1).

Таблица 1. Модели металлических ворот фирмы JOURDAIN.

Модель	Длина ворот, м	Ширина ворот, м	Масса, кг
BA1700	2м	1м	42
BA1701	3м	2м	55
BA1702	4м	3м	71
BA1703	5м	4м	90
BA1704	6м	5м	104
BA1705	7м	6м	126

1. 2. Идентификация КРС

Существуют следующие виды идентификации, применяемые в сельском хозяйстве:

- 1) ушные бирки, ленты на ногу, на шею и т. д.;
- 2) выжигание номера;
- 3) микрочип;
- 4) респондер;
- 5) рескаунтер.

Первые два пункта считают устаревшими, и стараются их не использовать, поскольку выжигание и установка ушных бирок болезненны для животных. В устройствах с 3 по последний пункт применяются метки, основанные на RDIF-технологии.

RFID (радиочастотная идентификация) — способ автоматической идентификации объектов, в котором посредством радиосигналов считываются или записываются данные, хранящиеся в так называемых транспондерах, или RFID-метках. Любая RFID-система состоит из считывающего устройства (считыватель, ридер или интеррогатор) и транспондера (он же RFID-метка, иногда также применяется термин RFID-тег)[4].

Рассмотрим эти аналоги более подробно.

1. Микрочип для животных Felixcan.

Микрочип для животных с индивидуальным цифровым кодом - энергетически пассивная микросхема, заключённая в оболочку и активизирующаяся при воздействии установленной частоты сканирующего устройства. Является носителем уникального 15-значного цифрового кода, сохраняющего свою работоспособность в течение всей жизни животного. Международный стандарт (адаптированный для России): ISO 11784, 11785[5].

Размер имплантата минимален 12х2мм, катушка индуктивности заключена в капсулу из биоорганического стекла, что устраняет возможность

отторжения и миграции, каждый чип находится в шприце-инъекторе, находящимся в стерильной упаковке, что в свою очередь превращает процесс идентификации в простую подкожную инъекцию[5].



Рисунок 3 – Размеры микрочипа в сравнении с рисовым зерном

2. Респондер Р-1.

Респондер - устройство для бесконтактной радиочастотной идентификации крупного рогатого скота (коров). Закрепляется на животном с помощью специальных ошейников. На корпус устройства нанесен уникальный идентификационный номер, который также транслируется оператору[6].

Респондеры Р-1 предназначены для бесконтактной радиочастотной идентификации крупного рогатого скота (коров) в соответствии с требованиями ISO11784-11785 и закрепляются на животном с помощью специализированного ошейника. Респондеры устойчивы к воздействию температуры окружающей среды в диапазоне температур от минус 40 до плюс 70°C и относительной влажности 100%[7].

Основные характеристики:

- рабочая частота: 134,2кГц;
- рабочая дальность: до 2м;
- масса: не более 0,1кг;
- габаритные размеры: цилиндр с диаметром 29мм, высотой 58мм;
- средний срок службы: 10 лет[7].



Рисунок 4 – Репондер Р-1

3. Рескаунтер Wesfalia Surge.

Рескаунтер для коров к доильным залам «Westfalia Surge» с ошейником в комплекте. Рескаунтер находится в корпусе и оснащен чипом стандарта FDX-B ISO 11784/11785. Рескаунтер является электронной идентификационной карточкой коровы: распознает её при входе в доильный зал, где установлены антенны, на кормостанцию или когда она проходит через сортировочные ворота. Обладая этой информацией, система может учитывать индивидуальный надой молока, выдавать необходимую порцию концкормов, направлять корову в свою группу или загон для лечения. Современные системы оснащены контроллерами доильного места, счетчиками молока и электронными пульсаторами. Они позволяют вести постоянный мониторинг и оценку коровы или группы коров, что играет важную роль для достижения высокой молочной продуктивности по стаду в целом, что играет важную роль для достижения высокой молочной продуктивности по стаду в целом[8].



Рисунок 5 – Рескаунтер Westfalia Surge

2. Разработка структурной схемы

Кормовая станция должна фиксировать факт нахождения коровы внутри кормовой станции при помощи платформы с емкостным датчиком, идентифицировать её по специальному ошейнику (радиосигнал определенной частоты, индивидуальный для каждой коровы), закрывать защитную решетку станции и выдавать комбикорм (находящийся в бункерах над станцией) в определенных пропорциях, учитывая данные о животном.

Разработанная в рамках курсового проекта система связана с идентификацией и фиксацией коровы. Структурная схема системы приведена в приложении А.

Платформа

Платформа – это возвышенная площадка внутри кормовой станции. Размещена она на земле прямо перед кормушкой, чтобы передние копыта коровы наступали на нее. Изготовлена будет также из оцинкованной стали, как ограждение и калитка. Преимущества данного вида стали описаны в разделе «Обзор литературы».

Емкостный датчик

Ёмкостный датчик - преобразователь параметрического типа, в котором изменение измеряемой величины преобразуется в изменение ёмкости конденсатора[9].

Специальная схема преобразует изменение ёмкости в пороговый сигнал датчика. В простейших датчиках это обычно мультивибратор, преобразователь «частота (или скважность) - напряжение» и компаратор. Иногда, если изменение ёмкости в ответ на воздействие невелико, приходится ставить схемы на микроконтроллерах, которые занимаются автоподстройкой чувствительности и нуля датчика[9].

Основные преимущества ёмкостных датчиков: высокий порог чувствительности и небольшая инерционность. Основные недостатки: сильное влияние внешних электромагнитных полей[9].

Контроллер

Промышленный контроллер - управляющее устройство, применяемое в промышленности и других отраслях по условию применения и задачам, близким к промышленным (например, на транспорте). Применяется для автоматизации технологических процессов, в быту — для управления климатом и др. Основное требование предъявляемое к промышленным контроллерам, высокая надежность и возможность работы в жестких промышленных условиях[10].

RFID метка

RFID метка (rfid tag, rfid чип) - это устройство, способное хранить данные и передавать их RFID-считывателю бесконтактным способом с помощью радиоволн. RFID метки бывают самоклеящиеся или корпусные, активные (обладают собственным источником питания) или пассивные (не имеют встроенного источника энергии), а также могут быть различных диапазонов LHF (низкие частоты: 125-134кГц), HF (средние частоты: 13,56МГц), UHF (высокие частоты: 860-960МГц)[11].

Считыватель

RFID считыватель (rfid reader) - это устройство, которое позволяет считывать информацию с RFID меток бесконтактным способом с помощью радиоволн. RFID считыватели (rfid readers) бывают мобильные, стационарные или монтируемые[12].

Большинство считывателей также способны кодировать информацию: записывать в память метки дополнительные данные и устанавливать флаги доступа. Описан данный считыватель, поскольку выбор этой технологии был обоснован ранее.

Твердотельное реле

Твердотельное реле (ТТР) - электронное устройство, являющееся типом реле без механических движущихся частей, служащее для включения и выключения высокомогностной цепи с помощью низких напряжений, подаваемых на клеммы управления. ТТР содержит датчик, который

реагирует на вход (управляющий сигнал) и твердотельную электронику, включающую высокоомощностную цепь. Этот тип реле может использоваться в сетях постоянного и переменного тока. Устройство применяется для тех же функций, что и обычное реле, но не содержит движущихся частей[13].

Калитка

Калитка – небольшая дверь в кормовую станцию. Будет изготовлена из оцинкованной стали.

Концевой датчик

Концевой выключатель - электрическое устройство, применяемое в системах управления в качестве датчика, формирующего сигнал при возникновении определенного события, как правило, механическом контакте пары подвижных механизмов. Используются также и бесконтактные концевые выключатели, которые состоят из инфракрасного светодиода и фоторезистора, расположенных друг напротив друга. Такие концевые выключатели часто устанавливаются в принтерах и сканерах[14].

Источник вторичного питания

Вторичный источник электропитания - устройство, предназначенное для обеспечения питания электроприбора электрической энергией, при соответствии требованиям её параметров: напряжения, тока, и так далее путём преобразования энергии других источников питания[15].

3. Разработка функциональной схемы

Функциональная схема проектируемого устройства приведена в приложении Б. На ней указано назначение устройств и тип сигнала, передаваемый от одного устройства к другому.

Механическое воздействие

Когда корова заходит в кормовую станцию, она наступает на платформу. С этого действия начинается работа всей системы. Функция платформы – передача механического воздействия, вызванного нахождением коровы на платформе, на блок управления для выполнения дальнейших задач: идентификации и фиксации.

Устройство преобразования механического сигнала в электрический

В данной системе для выполнения данной функции используется емкостный датчик, емкость которого изменяется в результате механического воздействия на обкладки конденсатора. Механический сигнал поступает на них с платформы. После преобразования сигнала из одной формы в другую возможна его передача на блок управления.

Блок управления

После поступления сигнала с платформы и с приемника радиосигнала блок управления посылает сигнал на устройство фиксации коровы. Также в данном блоке прописана процедура обработки обратной связи с объекта управления.

Здесь находится база данных, содержащая в себе частоту колебательного контура каждой метки и соответствующие ей данные о корове. Поступивший сигнал со считывателя приводит в соответствие частоту колебательного контура и строчку в базе данных с информацией о конкретной корове. В рамках данного проекта база данных о необходимом количестве корма, удоях и других параметрах составляется животноводом. В случае успешного распознавания блок управления сообщает системе подачи корма о том, какой корм и в каком количестве необходим конкретной корове.

Идентификация

Передачик сигнала

В качестве передатчика сигнала используется RFID метка. С нее радиосигнал поступает на приемник.

Приемник сигнала

Считыватель RFID принимает данные с метки коровы, находящейся у нее на шее. Далее отправляет сигнал в блок управления, чтобы установить соответствие между коровой и частотой колебания ее метки.

Фиксация

Устройство для коммутации электропривода

Поскольку необходимо передать сигнал с блока управления на электропривод, нужно между ними поставить устройство для надежной коммутации электропривода.

Электропривод

Функция электропривода заключается в том, чтобы приводить в движение калитку для ее открытия и закрытия.

Калитка

Калитка выполняет функцию фиксации коровы. Когда калитка закрыта, корова не может покинуть кормовую станцию в ожидании корма, например, также другие коровы не смогут ей помешать есть и забрать ее корм себе. Из-за этого снижается уровень стресса у коровы, а вследствие этого и риск возникновения заболеваний.

Датчик обратной связи

Датчик обратной связи необходим для того, чтобы калитка останавливала свое вращение при его срабатывании. Также сигнал с него позволяет установить: закрыта калитка или открыта.

4. Расчет двигателя

Исходные данные:

$m_{p.o.}=42\text{кг}$ – масса рабочего органа (калитки),

$g=9,8\text{кг}\cdot\text{м}/\text{с}^2$,

$\omega_{p.o.}=12\text{об}/\text{мин}$ – число оборотов рабочего органа за 1 минуту.

В качестве рабочего органа имеем калитку. Поскольку высокая точность перемещения не требуется (необходимо, чтобы дверь открывалась и закрывалась), а нужно зафиксировать дверь в каждой крайней точке, была выбрана зубчатая передача. Поскольку для калитки необходимо обеспечить малое число оборотов и мощность его не должна быть большой (из-за того, что работу совершает сила трения), был выбран двигатель асинхронный АИР63А6 со следующими параметрами[16]:

$P_{дв}=0,18\text{кВт}$,

$\omega_{дв}=860\text{об}/\text{мин}$.

Рассчитаем момент рабочего органа (калитки). Для этого предположим, что радиус червячной шестерни равен 15см.

$$M_{p.o.} = F_{тяж} * h, \quad (1)$$

$F_{тяж}$ – сила тяжести, действующая на калитку,

h – плечо силы, равное радиусу шестерни.

Подставим все известные данные в (1):

$$M_{p.o.} = 42 * 9,8 * 0,15 = 61,74(\text{Н} * \text{м}).$$

Рассчитаем коэффициент редуктора:

$$k_p = \frac{\omega_{дв}}{\omega_{p.o.}} = \frac{860}{12} = 71,6.$$

Из ГОСТ 2144-76 [17] было выбрано передаточное число для червячной передачи, равное 71, поэтому имеем:

$$k_p = 71.$$

Найдем реальный момент двигателя по формуле:

$$M_{дв} = \frac{1,5 * M_{p.o.}}{k_p} = \frac{1,5 * 61,74}{71} = 1,3(\text{Н} * \text{м}). \quad (2)$$

Рассчитаем номинальный момент выбранного двигателя по формуле:

$$M_{дв} = \frac{P_{дв}}{\pi \cdot \frac{\omega_{дв}}{30}} = \frac{180}{\pi \cdot \frac{860}{30}} = 2(\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Для того, чтобы узнать, подходит ли рассчитанный момент двигателя (2) для данного двигателя, найдем минимальный момент двигателя АИР63А6:

$$M_{\min} = M_{\text{н}} / \frac{M_{\text{н}}}{M_{\min}},$$

где $M_{\text{н}}/M_{\min}=1,6$ – значение, взятое из характеристик двигателя[16].

$$M_{\min} = \frac{2}{1,6} = 1,25(\text{Н} \cdot \text{м}).$$

Из полученных значений следует, что данный двигатель подходит по условиям задачи, поскольку значение рассчитанного момента находится между номинальным и минимальным моментом двигателя АИР63А6.

Таблица 4. Характеристики двигателя АИР63А6[16].

Параметр	Единица измерения	Значение
Мощность	кВт	0,18
Частота вращения	об/мин	860
КПД	%	56
cosφ	-	0.62
Ip/In	-	4
Mп/Мн	-	2,2
Mmax/Мн	-	2,2
Mmin/Мн	-	1,6
Масса	кг	4,8

Изображение двигателя приведено на рисунке 6.



Рисунок 6 – Внешний вид двигателя АИР63А6

5. Расчет редуктора

5. 1. Червячный редуктор

Червячный редуктор был выбран по следующим причинам:

- 1) способен обеспечить необходимое передаточное число 71;
- 2) способен обеспечить фиксацию калитки в крайней точке;
- 3) находится в действии в течение непродолжительного времени;
- 4) плавность и бесшумность работы;
- 5) компактность (особенно важно при большом передаточном числе).

Редуктор червячный — один из классов механических редукторов.

Редукторы классифицируются по типу механической передачи. Редуктор называется червячным по виду червячной передачи, находящейся внутри редуктора, передающей и преобразующей крутящий момент. Винт, который лежит в основе червячной передачи, внешне похож на червяка, отсюда и название. Червячный редуктор может быть с одной или более механическими планетарными передачами[18].

В червячном редукторе увеличение крутящего момента и уменьшение угловой скорости выходного вала происходит за счет преобразования энергии, заключенной в высокой угловой скорости и низком крутящем моменте на входном валу[18].

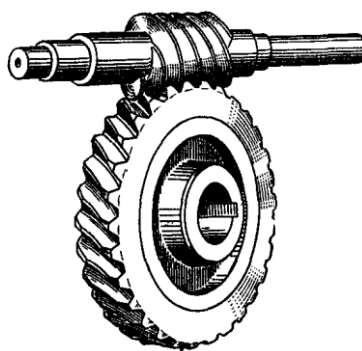


Рисунок 7 – Червячная передача

5. 2. Выбор материалов для червяка и червячного колеса

Для червяков применяют те же марки сталей, что и для зубчатых колёс. Термообработка червяка зависит от передаваемой им мощности. Улучшение с твёрдостью $\leq 350\text{HB}$ применяют для передач малой мощности

(до 1 кВт) и сравнительно малой длительности работы (случай, рассмотренный в данной работе). Для передач большей мощности при длительной их работе с целью повышения КПД применяют закалку до $HRC \geq 45$, шлифование и полирование витков червяка[17].

Так как выбор материала для колеса связан со скоростью скольжения, определяют предварительно ожидаемую скорость скольжения:

$$V_s \approx 0,45 * 10^{-4} n_1 \sqrt[3]{T_2},$$

n_1 – частота вращения червяка (соответствует частоте вращения двигателя $\omega_{дв}$),

T_2 – вращающий момент на червячном колесе (соответствует моменту вращения рабочего органа $M_{р.о.}$).

Таким образом, имеем:

$$V_s = 0,45 * 10^{-4} * 860 \sqrt[3]{61.74} = 1.53(\text{м/с}).$$

Выбор материала осуществляем при помощи таблицы 3.

Таблица 3. Механические характеристики материалов червячных колес[20].

Материал	Способ отливки	Предел прочности σ_B , МПа	Предел текучести σ_T , МПа	Скорость скольжения V_s , м/с
Бр010Ф1	в землю	215	140	≥ 5
	в кокиль	250	195	
Бр010Н1Ф1	центробежный	285	165	
Бр05Ц3С5	в землю	150	80	<5
	в кокиль	200	90	
БрА9ЖЗЛ	в землю	390	195	
	в кокиль	490	200	
	центробежный	500	200	
БрА10Ж4Н4Л	в кокиль	590	295	
	центробежный	600	295	

На основании таблицы был выбран материал БрА10Ж4Н4Л.

5. 3. Определение допускаемых контактных напряжений для червячного колеса

Допускаемые контактные напряжения рассчитываются по формуле[20]:

$$[\sigma_H] = [\sigma]_{H0} - 25V_s,$$

$$[\sigma]_{H0}=250\text{Н/мм}^2 \text{ для червяков при } HB \leq 350.$$

Таким образом, рассчитаем допускаемые контактные напряжения:

$$[\sigma_H] = 250 - 25 * 1,53 = 211,76(\text{МПа}).$$

5. 4. Определение допускаемых напряжений изгиба для червячного колеса

Допускаемые напряжения изгиба для зубьев червячного колеса при длительной работе рассчитываются следующим образом[19]:

$$[\sigma_F] = \sigma_{Flim} Y_N,$$

σ_{Flim} – предел выносливости зубьев при изгибе (рассчитывается по формуле из таблицы 6),

Y_N – коэффициент долговечности при расчете зубьев на изгиб.

Коэффициент долговечности для кратковременно работающих червячных передач принимают $Y_N=1$ [19].

Таблица 6. Пределы контактной выносливости и выносливости зубьев колеса при изгибе[20].

Материал венца червячного колеса	σ_{Hlim} , МПа		σ_{Flim} , МПа	
	твёрдость поверхности витков червяка, HRC		нереверсивная передача	реверсивная передача
	<45	≥ 45		
Оловянная бронза	$0,75\sigma_B$	$0,9\sigma_B$	$0,08\sigma_B + 0,25\sigma_T$	$0,16\sigma_B$
Безоловянная бронза	$250-25V_s$	$300-25V_s$		

Поскольку в системе задействована нереверсивная передача (передача момента осуществляется только от червяка к колесу), то предел выносливости зубьев при изгибе рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{\text{Flim}} = 0,08\sigma_B + 0,25\sigma_T.$$

Поскольку $Y_N=1$, то имеем:

$$[\sigma_F] = \sigma_{\text{Flim}} = 0,08\sigma_B + 0,25\sigma_T.$$

Взяв данные для расчета из таблицы 5, получим:

$$[\sigma_F] = 0,08 * 590 + 0,25 * 295 = 120,95(\text{МПа}).$$

5. 5. Расчет основных геометрических параметров червячной передачи

Поскольку при расчете двигателя был взят диаметр червячного колеса $d_{\text{ш}}=30\text{см}$, то по формуле можно найти модуль передачи m [19]:

$$m = \frac{d_{\text{ш}}}{k_p} = \frac{300}{71} = 4,22(\text{мм}).$$

Примем $m=5$.

На основании таблицы, приведенной на рисунке 8, взятой из [20], найдем значение коэффициента диаметра червяка q .

m	q		Число заходов червяка
	Ряд 1	Ряд 2	
1,00; 1,25	10,0	—	1; 2; 4
	12,5	—	1; 2; 4
	16,0	—	1; 2; 4
	20,0	—	1; 2; 4
	25,0	—	1
1,60	10,0	—	1; 2; 4
	—	11,2	1; 2; 4
	12,5	—	1; 2; 4
	—	14,0	1; 2; 4
	16,0	—	1; 2; 4
	—	18,0	1
2,00; 2,50; 3,15; 4,00; 5,00; 8,00 10,00	20,0	—	1; 2; 4
	25,0	—	1
	8,0	—	1; 2; 4
	—	9,0	1; 2; 4
	10,0	—	1; 2; 4
	—	11,2	1; 2; 4
	12,5	—	1; 2; 4
	—	14,0	1; 2; 4
12,50	16,00	—	1; 2; 4
	—	18,0	1
	20,00	—	1; 2; 4
	25,0	—	1
	8,0	—	1; 2; 4
	—	9,0	1; 2; 4
	10,0	—	1; 2; 4
16,00	—	11,2	1; 2; 4
	12,5	—	1; 2; 4
	—	14,0	1; 2; 4
	16,0	—	1; 2; 4
	—	18,0	1
	20,0	—	1; 2; 4
20,00	8,0	—	1; 2; 4
	—	9,0	1; 2; 4
	10,0	—	1; 2; 4
	12,5	—	1; 2; 4
	16,0	—	1; 2; 4
25,0	10,0	—	1; 2; 4
	12,5	—	4
	16,0	—	4
	20,0	—	4

Примечание. Значения ряда 1 следует предпочитать значениям ряда 2.

Рисунок 8 – Значения коэффициента диаметра червяка q и число заходов червяка в зависимости от модуля m

Для $m=5$, учитывая, что передаточное число выбрано из ряда 2, возьмем $q=9$.

Примем также, что смещение червяка равно 0. Это соответствует архимедову червяку (ZA), одному из самых распространенных.

Архимедов червяк (ZA) (рисунок 9) — образуется при нарезании его витков резцом, вершина которого установлена по оси заготовки. В поперечном сечении такого червяка получим Архимедову спираль. В сечении осевой плоскостью – прямые образующие боковых сторон профиля

витка (трапецеидальный профиль в осевом сечении). Боковая поверхность витков такого червяка представляет собой Архимедову винтовую поверхность. Архимедовы червяки широко распространены, т.к. наиболее просты в изготовлении и обеспечивают достаточно высокую точность червячной передачи[21].

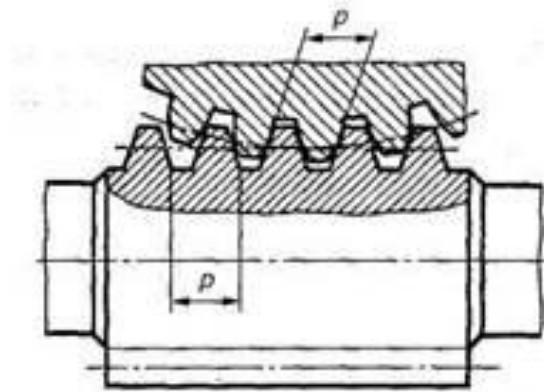


Рисунок 9 – Архимедов червяк и червячное колесо

Зная все исходные данные, рассчитаем все основные геометрические параметры червячной передачи. Все расчеты взяты из источника [19].

Межосевое расстояние:

$$a = 0,5m(q + z_2) = 0,5 * 5 * (9 + 71) = 200(\text{мм}).$$

Проверим его на соответствие стандарту ГОСТ 2144-76. На рисунке 12 приведены значения для межосевого расстояния, прописанные в ГОСТ[21].

$a_{\text{нр}}, \text{мм}$											
1-й ряд...	50;	63;	80;	100;	125;	160;	200;	250;	315;	400;	500
2-й ряд...	45;	56;	71;	90;	112;	140;	180;	225;	280;	355;	450

Рисунок 10 – Межосевые расстояния из ГОСТ-2144-76

Таким образом, рассчитанное межосевое расстояние находится в 1-ом ряду.

Угол подъема витков червяка:

$$\gamma = \arctg\left(\frac{z_1}{q}\right) = \arctg\left(\frac{1}{9}\right) = 6,34^\circ = 0,11(\text{рад}).$$

Делительные диаметры являются также и начальными, т.к. смещение равно 0.

Делительный (начальный) диаметр червяка:

$$d_1 = d_{w1} = m q = 5 * 9 = 45(\text{мм}).$$

Делительный (начальный) диаметр колеса:

$$d_2 = d_{w2} = m z_2 = 5 * 71 = 355(\text{мм}).$$

Диаметр вершины червяка:

$$d_{a1} = d_1 + 2m = 45 + 2 * 5 = 55(\text{мм}).$$

Диаметр вершины колеса:

$$d_{a2} = d_2 + 2m = 355 + 2 * 5 = 365(\text{мм}).$$

Диаметр впадины червяка:

$$d_{f1} = d_1 - 2,4m = 45 - 2,4 * 5 = 33(\text{мм}).$$

Диаметр впадины колеса:

$$d_{f2} = d_2 - 2,4m = 355 - 2,4 * 5 = 343(\text{мм}).$$

Наибольший диаметр колеса:

$$d_{ae2} \leq d_{a2} + \frac{6m}{z_1 + k},$$

$k=2$ для всех червяков, кроме червяков с вогнутым профилем.

Таким образом, наибольший диаметр колеса:

$$d_{ae2} = 365 + \frac{6*5}{1+2} = 375(\text{мм}).$$

Ширина венца колеса:

$$b_2 \leq 0,75a_2 = 0,75 * 55 = 41,25(\text{мм}).$$

Длина нарезанной части червяка:

$$b_1 = 2\sqrt{(0,5d_{ae2})^2 - (a - 0,5d_{a1})^2} + 0,5\pi m,$$

$$b_1 = 2 * \sqrt{(0,5 * 375)^2 - (200 - 0,5 * 55)^2} + 0,5 * 3,14 * 5 = 154,8(\text{мм}).$$

5. 6. Определение КПД передачи

Общий коэффициент полезного действия червячной передачи рассчитывается по формуле[19]:

$$\mu = 0,96 \frac{\operatorname{tg} \gamma}{\operatorname{tg}(\gamma + \rho)},$$

ρ – приведенный угол трения.

Значение приведенного угла трения берется из таблицы 7[19].

Таблица 5. Приведенные углы трения между стальным червяком и колесом из бронзы.

Материал колеса	Скорость скольжения V_s , м/с						
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0
Оловянные бронзы	3°10'	2°30'	2°20'	2°00'	1°40'	1°30'	1°20'
Безоловянные бронзы	3°40'	3°10'	2°50'	2°30'	2°20'	2°00'	1°40'

Скорость скольжения $V_s=1,5$ м/с, и были использованные безоловянные бронзы, поэтому приведенный угол трения $\rho=2^\circ 50'$.

Расчет КПД:

$$\mu = 0,96 \frac{\operatorname{tg}(6,34^\circ)}{\operatorname{tg}(6,34^\circ + 2,83^\circ)} = \frac{0,96 * 0,11}{0,16} = 0,66 \text{ или } 66\%.$$

Таким образом, КПД червячной передачи составляет 66%.

6. Подбор необходимых устройств

В данном пункте работы необходимо проанализировать все требования к элементам, рассмотреть их характеристики и классификации и сделать оптимальный выбор.

6. 1. Программируемый логический контроллер

В качестве контроллера была выбран программируемый логический контроллер ввиду своей широкой распространенности в промышленности и того, что данный тип устройства обладает достаточным количеством входов и выходов, способен обеспечить работу всех необходимых устройств, обладает достаточной вычислительной мощностью и памятью, достаточной для хранения базы данных.

Программируемый логический контроллер, программируемый контроллер – электронная составляющая промышленного контроллера, специализированного (компьютеризированного) устройства, используемого для автоматизации технологических процессов. В качестве основного режима работы ПЛК выступает его длительное автономное использование, зачастую в неблагоприятных условиях окружающей среды, без серьёзного обслуживания и практически без вмешательства человека[22].

Был выбран ПЛК160 фирмы ОВЕН, так как он удовлетворяет всем необходимым параметрам. К тому же, в нем есть запас по аналоговым и дискретным входам для дальнейшего расширения системы. Его внешний вид приведен на рисунке 11.



Рисунок 11 – Программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК160

Технические характеристики:

- напряжение питания: от 90 до 264В (номинальное 110/220В);
- частота питания: от 47 до 63Гц (номинальное значение 50Гц);
- потребляемая мощность: не более 40ВА;
- количество дискретных входов: 16;
- напряжение питания дискретных входов: $24 \pm 3В$;
- максимальный входной ток дискретного входа: не более 7мА при питании 24В, не более 8,5мА при питании 27В;
- сигнал «логической единицы», соответствующий состоянию «Включено», дискретных входов для постоянного напряжения (ток в цепи): от 15 до 30В (ток от 3 до 15мА);
- сигнал «логического нуля», соответствующий состоянию «Выключено», дискретных входов для постоянного напряжения (ток в цепи): от минус 3 до 5В (ток до 15мА);
- количество релейных выходных каналов: 12;
- максимальный ток, коммутируемый контактами реле, не более 3А;
- количество аналоговых входов: 8;
- тип поддерживаемых унифицированных сигналов: ток от 0 (4) до 20мА, ток от 0 до 5мА, напряжение от 0 до 10В;
- количество аналоговых выходов: 4;
- интерфейсы связи: RS-485 (1шт.), Ethernet 100 Base-T (1шт.), RS-232 (1шт.), RS-232-Debug (1шт.), USB-Device (1шт.);
- габаритные размеры: не более $(208 \times 110 \times 73) \pm 1$ мм;
- масса: не более 0,75кг[23].

6. 2. Емкостный датчик

Поскольку данный датчик фиксирует наличие либо отсутствие коровы на платформе, то был использован емкостной датчик, к которому не было

предъявлено больших требований, что позволило сэкономить на его стоимости. Так был выбран емкостный датчик CSN E53A5-31P-10-LZ.

Технические характеристики емкостного датчика CSN E53A5-31P-10-LZ:

- размер корпуса: диаметр 21*78мм;
- способ установки в металл: невстраиваемый;
- тип контакта/структура выхода: PNP замыкающий;
- номинальный зазор: 10мм;
- рабочий зазор: от 0 до 8мм;
- гистерезис: от 3 до 15%;
- диапазон рабочих напряжений: от 10 до 30В;
- максимальный рабочий ток: 400мА;
- частота переключения: 50Гц;
- комплексная защита: есть;
- световая индикация: есть;
- материал корпуса: Д16Т;
- присоединение/подключение: кабель 3*0,34кв.мм;
- материал чувствительной поверхности: фторопласт;
- диапазон рабочих температур: от -25 до +75°C[24].

Данный емкостный датчик изображен на рисунке 12.

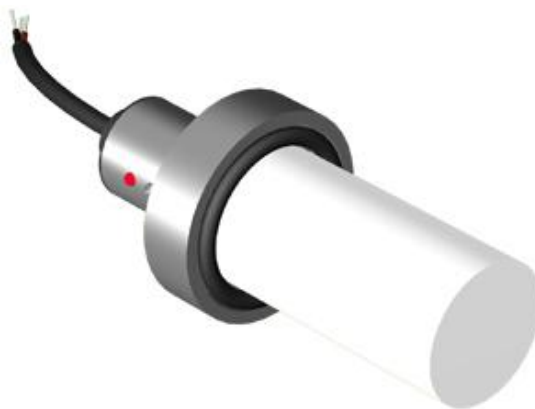


Рисунок 12 – Емкостный датчик CSN E53A5-31P-10-LZ

6. 3. Концевой выключатель

Данный тип устройства используется для проверки того, дошла ли калитка до своего крайнего положения или нет. Если дошла, то прекращается подача питания на двигатель, и калитка останавливается.

Поскольку особых требований выдвинуто не было, был выбран наиболее выгодный концевой выключатель D5C-00S0 фирмы OMRON. Он изображен на рисунке 13.



Рисунок 13 – Концевой выключатель емкостный D5C-00S0

Технические характеристики концевой выключателя емкостного D5C-00S0:

- рассчитан на 10млн срабатываний;
- питание: от 12 до 24В от источника постоянного тока, 100-240В – от переменного;
- частота: 50/60Гц;
- максимальный ток: 17мА;
- выходной ток: до 200мА;
- рабочая температура: от -25 до +70°C;
- рабочая влажность: от 35% до 95%;
- масса: 110г[25].

6. 4. Источник вторичного электропитания

Необходим источник вторичного питания на 24В, так как такое напряжение входит в диапазон допустимых напряжений для ПЛК160. В остальном требований не предъявляется, поэтому был выбран наиболее

выгодный источник вторичного питания DRC-24V10W1AZ . Он изображен на рисунке 14.



Рисунок 14 – Источник вторичного электропитания DRC-24V10W1AZ

Технические характеристики источника вторичного электропитания DRC-24V10W1AZ:

- напряжение питания от сети переменного тока: от 100 до 240В;
- частота сети: от 50 до 60Гц;
- выходное напряжение: $(24 \pm 2\%)$ В;
- выходной ток 0,42А;
- мощность: 10Вт;
- материал корпуса: пластик;
- габаритные размеры: 91*18*55,6мм;
- масса: 0,065кг;
- рабочая температура: от -25 до 71°C;
- рабочая влажность: от 5% до 95%[26].

6. 5. Считыватель

В данной работе рассматривалась технология RFID как наиболее широко применяемая и перспективная. Так был выбран наиболее выгодный считыватель фирмы Texas Instruments RI-RFM-007B. На рисунке 15 показано, как выглядит данный считыватель внутри корпуса.

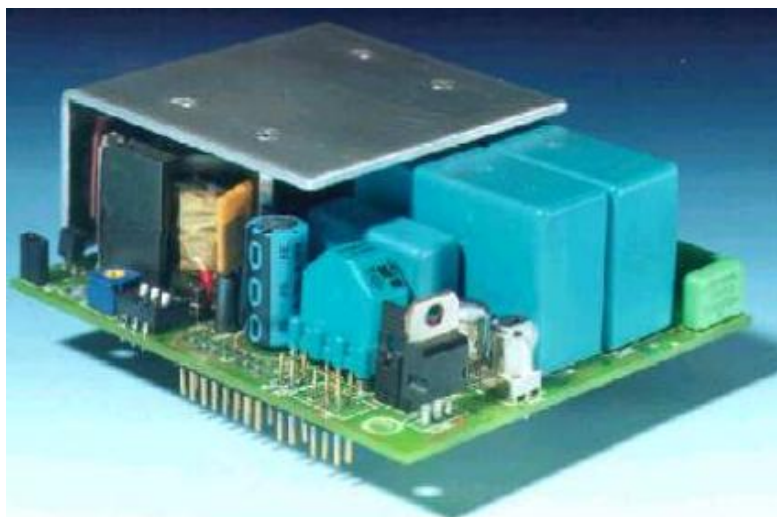


Рисунок 15 – Внутренний вид считывателя RI-RFM-007B

Технические характеристики считывателя RI-RFM-007B:

- технология: RFID;
- питание от источника постоянного тока: от 7 до 28В;
- максимальный ток: 1,7А;
- мощность: 20Вт;
- питания логической части: от 7 до 28В;
- рабочая температура: от -25 до +70°C[27].

6. 6. RFID метки

Необходимым условием при выборе RFID метки является выбор необходимой частоты, так как для разных целей используются различные частоты. Для животноводства используются низкие частоты, чтобы идентифицировать животных без вреда для их здоровья.

Так был выбран комплект из 10 штук электронных меток для животных DJ-D22 с частотой колебания 134,2кГц (рисунок 16). Данные метки можно использовать как для прокола уха коровы, так и для присоединения данной метки к ошейнику, что является наиболее гуманным методом.



Рисунок 16 – RFID метка для животных DJ-D22

Характеристики RFID метки DJ-D22:

- тип: пассивный;
- объем памяти: 64/256/512/1024 бита;
- размеры: 30*15мм (вариант 1), 28*23мм (вариант 2);
- рабочая частота: 134,2кГц;
- расстояние считывания 2-50см;
- материал: полиуретан (не создает аллергию у животных);
- масса: 0,09кг[28].

7. Конструкторская документация

Спецификация всех составляющих системы управления приведена в приложении В. Перечень выполнен в соответствии с ГОСТ 2.702-75 ЕСКД. Правила выполнения электрических схем.

В соответствии с имеющимися элементами в спецификации была собрана принципиальная электрическая схема. Её чертеж приведен в приложении Г.

8. Разработка алгоритма

Для наглядности работы всей системы была разработана блок-схема алгоритма. Она включает в себя как часть, рассматриваемую в данном курсовом проекте, так и часть, разрабатываемую в другом. Система, приведенная в данном курсовом проекте, обозначена пунктирной линией. Алгоритм работы всей системы приведен в приложениях Д и Е.

Началом для запуска системы служит наличие коровы на платформе: если платформа нажата, то система запускается. Далее происходит замыкание цепи, в которой находится считыватель, и его включение. После включения происходит считывание метки с коровы. Затем данный сигнал поступает в устройство обработки информации, где происходит установление соответствия между частотой колебательного контура метки и строчкой в базе данных с информацией о конкретной корове. На этом процесс идентификации завершается. После этого проверяется, съела ли корова уже свою суточную норму (норма рассчитывается животноводом, переизбыток сказывается вредно на здоровье животного, а также на удоях). Если это условие выполняется, то калитка остается открытой, и корова может свободно покинуть кормовую станцию, если нет, то калитка закрывается.

Следующая часть алгоритма рассмотрена вне данного курсового проекта. После закрытия калитки происходит получение данных о рационе и проверка наличия корма в бункерах. Если есть, то начинается подача корма, находящегося в них. Если корма нет, то его необходимо доставить. Поскольку в рамках проекта не рассмотрена система транспортировки корма, то посылается сигнал оператору о том, что корма нет. Также сигнал оператору посылается в любом случае возникновения неисправности. Далее проверяется условие: ест ли корова, находясь в кормовой станции. Если нет, то посылается сигнал оператору, и тогда необходимо проверить состояние здоровья животного и корма. Затем проверяется по базе данных, есть ли не выданный корм, если есть, то он выдается в соответствии с дозировкой. Если

корова поела, то в базе данных число приемов пищи животного увеличивается на 1.

Вернемся в части блок-схемы, описанной в данном курсовом проекте. Когда корова уже поела, необходимо ее выпустить, поэтому калитка открывается, и животное свободно может покинуть кормовую станцию до следующего приема пищи.

Отдельно алгоритм блока идентификации приведен в приложении Ж.

Заключение

В рамках данного курсового проекта была разработана система идентификации и фиксации крупного рогатого скота, и рассмотрен алгоритм работы всей кормовой станции на данном этапе разработки. Пока система автоматизирована частично, еще необходимо участие животновода для внесения информации о корове в базу данных и рабочего для устранения неполадок в работе системы.

В будущем планируется сделать данную кормовую станцию полностью автоматической, чтобы животновод лишь иногда проверял состояние здоровья животных. Также она будет в себя включать следующие элементы:

- измельчитель корма для того, чтобы изготавливать самим, а не закупать комбикорма;
- смеситель (можно увеличить число бункеров, добавив в рацион другие элементы питания);
- транспортер для доставки корма к бункерам;
- робот-дойяр, который помимо своей основной функции будет отправлять информацию об удоях, жирности молока в ячейку базы данных о конкретной корове;
- усовершенствовать устройство, находящееся на шее коровы (как правило, такие устройства помимо метки для идентификации содержат в себе элементы, следящие за состоянием здоровья коровы).