

*И. В. Бочкарев, А.Р. Сандыбаева, Х.Г. Багиев, elmech@mail.ru  
Институт машиноведения и автоматизации НАН КР  
Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова*

## **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

Показана целесообразность переработки различных органических отходов с целью получения из них полезных веществ. Рассмотрена структура биоэнергетического комплекса и последовательность технологических операций при его работе. Описан самый первый этап работы комплекса – процедура навозоудаления. Показано, что для реализации этой процедуры используется механический способ удаления навоза посредством системы скребковых навозоуборочных транспортеров, которая состоит из двух транспортеров – горизонтального и наклонного, каждый из которых имеет собственный приводной двигатель и работает независимо друг от друга. Показано, что работа навозоуборочных транспортеров характеризуется целым рядом специфических особенностей, которые необходимо учесть при разработке схемы их управления. Разработана схема частотного управления транспортеров, основу которой составляет программируемый логический контроллер.

**Ключевые слова:** биоэнергетический комплекс, биореактор, система навозоудаления, скребковый транспортер, схема управления транспортеров, программируемый логический контроллер, преобразователь частоты.

**Введение.** Переработка и утилизация отходов является серьезной проблемой в большинстве развитых стран, поскольку она связана с серьезными экологическими и экономическими вопросами. Эта проблема касается всех видов отходов – бытовых, производственных, сельскохозяйственных и, в частности, отходов животноводства. Так, крупные фермы, имеющие 10 000 и более животных, оказывают значительное влияние на экосистему и представляют проблемы, которые трудно решить как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе. В попытке предотвратить экологическую катастрофу, в разных странах законодательно установлены ограничения на количество отходов животноводства, которые могут распространяться в год на единицу поверхности. Например, согласно Регламента № 1069/2009 Европейского парламента и совета, который вступил в силу с 4 марта 2011 г., в Европе введено ограничение, оговаривающее содержание азота в отходах [1], которое фактически ограничивает размер свиноферм. Поэтому вопрос утилизации экскрементов является весьма проблематичным и актуальным.

Конечно, отходы животноводства (навоз и помет) можно использовать в качестве удобрения. Однако эти отходы в свежем виде применять как удобрение нельзя, их необходимо подвергнуть процессу перепревания, чтобы они превратились в перегной, пригодный для удобрения почвы. Этот процесс довольно сложный и занимает длительное время (обычно не менее 12 месяцев). Причем очевидно, что для этого требуется отчуждения больших площадей сельскохозяйственных земель под хранение навоза. Например, в России хранением навоза занято более двух миллионов гектаров земли. Следовательно, этот способ утилизации вызывает большое количество проблем, причем как финансовых, так и экологических, т.к. для перевозки и длительного хранения больших объемов отходов необходимы большие затраты, а их хранение оказывают не только сильное негативное влияние на экологическую среду, но и приводит к накоплению в травах, зерне и источниках воды вредных веществ и может даже привести к вспышке опасных инфекций.

Таким образом, существует потребность в эффективных и экономически.

**Использование биоэнергетических установок для переработки органических отходов.** Одним из путей решения указанной проблемы является использование отходов животноводства для получения биогаза (метана) и удобрений путем их анаэробной переработки в биоэнергетических установках [2–4]. Такой подход не только позволяет произвести утилизацию отходов с целью обеспечения их повторного использования в народном хозяйстве, но и одновременно решает задачу производства энергии из возобновляемых ресурсов. Благодаря своей постоянной доступности и независимости, в отличие от других возобновляемых источников, от постоянных изменений внешних условий, например, интенсивности ветра или солнечного света, биоэнергия вносит значительный вклад в дополнение к энергетическому сочетанию возобновляемых источников энергии [5]. В условиях Кыргызстана получаемый таким способом биогаз наиболее целесообразно использовать для отопления зданий, а также для поддержания требуемой температуры протекания самого биогазового процесса [6, 7].

Производство термически пригодных газовых смесей из биоразлагаемых субстратов, т.е. извлечение из них биогаза и преобразования тем самым биомассы в энергию, представляет собой комплексный технический процесс, включающий целый ряд этапов. В целом система биоэнергетического комплекса показана на рис. 1.

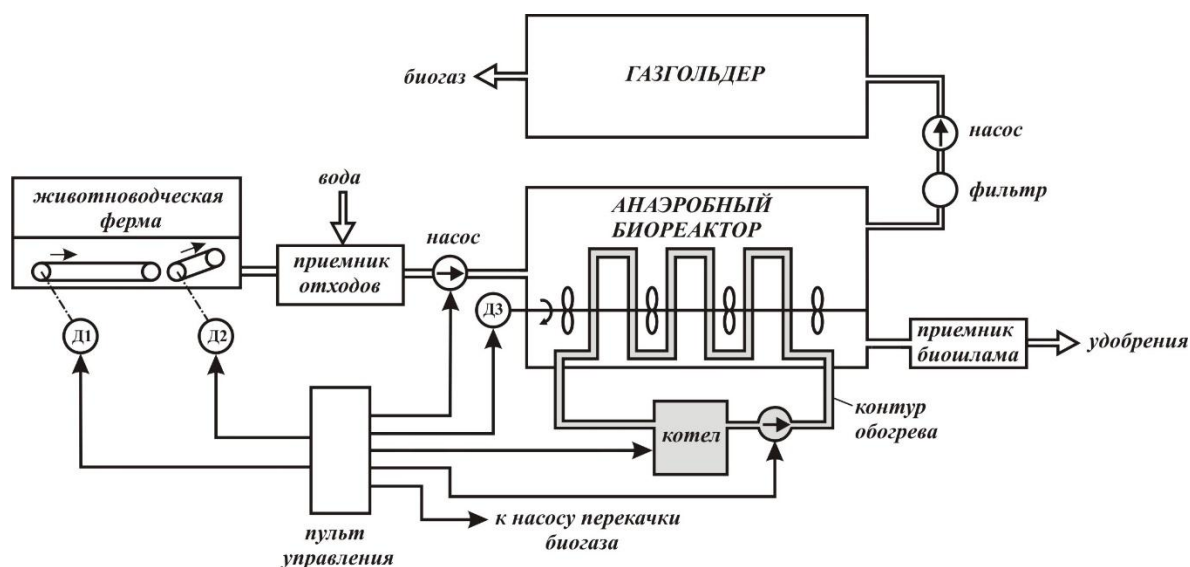


Рисунок 1 – Принципиальный состав системы биоэнергетического комплекса

В состав биоэнергетического комплекса входят следующие основные структурные составляющие:

- животноводческая ферма, оборудованная системой навозоудаления;
- приемник отходов, в котором биомасса подготавливается к переработке;
- биореактор, в которой биомасса подвергается анаэробному брожению;
- газгольдер, представляющий собой резервуар для сбора биогаза;
- приемник биомассы;
- пульт управления.

Последовательность технологических операций при работе биоэнергетического комплекса следующая. На этапе подготовки исходная биомасса собирается и удаляется из животноводческой фермы посредством системы специальных навозоуборочных транспортеров, приводимых в действие электродвигателями Д1 и Д2. Затем она подается в специальную емкость, где смешивается с водой для проведения процесса мокрого сбраживания. Этот процесс проводится непосредственно перед подачей подготовлен-

ного субстрата в биореактор. В нем для получения биогаза создают условия, благоприятные для развития определенных видов бактерий, которые в процессе жизнедеятельности выделяют метан. Кислород для их жизнедеятельности не требуется, поэтому процесс осуществляется анаэробным способом [8]. При этом большое значение имеет не только состав и консистенция сырья [9], но также температура и внутреннее давление.

В сущности, процесс анаэробного сбраживания включает в себя два этапа. На первом этапе сложные органические полимеры (клетчатка, белки, жиры и др.) под действием различных видов анаэробных бактерий разлагаются до более простых соединений, которые затем на втором этапе превращаются метанообразующими бактериями в метан, углекислый газ и воду. Образованный метан перекачивают в газгольдер, откуда в последствие его берут для дальнейшего использования.

После анаэробного сбраживания в биореакторе остается осадок, так называемый биошлам. Ценность биошлама заключается в том, что содержащиеся в исходной сбраживаемой массе полезные элементы (фосфор, калий и азот) полностью остаются в биошлеме, а часть вредных нитратов и нитритов в процессе ферментации сбраживаются в аммиак и метан. Шлам можно разделить на две фракции: жидкую и твердую, каждая из которых является удобрением. Жидкая фаза шлама после анаэробной переработки может сразу же использоваться как удобрение для сельскохозяйственных культур. Твердая фракция шлама может использоваться не только как удобрение, так и в качестве подкормки для крупного рогатого скота.

Таким образом, протекающие в биоэнергетическом комплексе процессы представляет собой экологически чистый, безотходный способ переработки органических отходов животного и растительного происхождения с целью получения биогаза и удобрений, причем такое натуральное биоудобрение полезнее, чем минеральные удобрения, содержащие дополнительные химические добавки.

**Системы навозоудаления в биоэнергетическом комплексе.** Очевидно, что эффективность работы всего биоэнергетического комплекса зависит от качества работы каждого его элемента. Рассмотрим самый первый этап работы комплекса – процедуру навозоудаления. Именно от является самым трудоемким и технически сложным, на который тратится примерно от 30 до 50% трудовых затрат. Для реализации этой процедуры используется механический способ удаления навоза, обычно посредством системы скребковых навозоуборочных транспортеров. Использование таких транспортеров позволяет механизировать одну из самых сложных задач в животноводческом хозяйстве – уборку навоза крупнорогатого скота в помещениях любого размера, что позволяет значительно экономить трудовые ресурсы [10].

Система навозоудаления на крупных животноводческих фермах содержит различные поточно-транспортные механизмы циклического действия. Эти механизмы по их функциональному назначению можно разделить на три группы:

1 – продольные механизмы (обычно кругового движения), осуществляющие удаление навоза из зон расположения животных; 2 – поперечные механизмы, осуществляющие удаление навоза из помещения; 3 – транспортные механизмы, осуществляющие погрузку навоза в навозосборник и его транспортировку в хранилище.

Обычно система навозоуборочных транспортеров состоит из двух транспортеров – горизонтального и наклонного, каждый из которых имеет собственный приводной двигатель и работает независимо друг от друга. Для примера на рис.2 показана технологическая кинематическая схема системы удаления навоза двухрядного коровника.

Горизонтальный транспортер (ГТ) 1 состоит из ковальной замкнутой цепи со скребками, поворотных устройств для изменения направления движения цепи и натяжного

устройства. Цепь приводится в движение от электродвигателя Д1 через редуктор и размещается в навозном канале 3 животноводческого помещения.

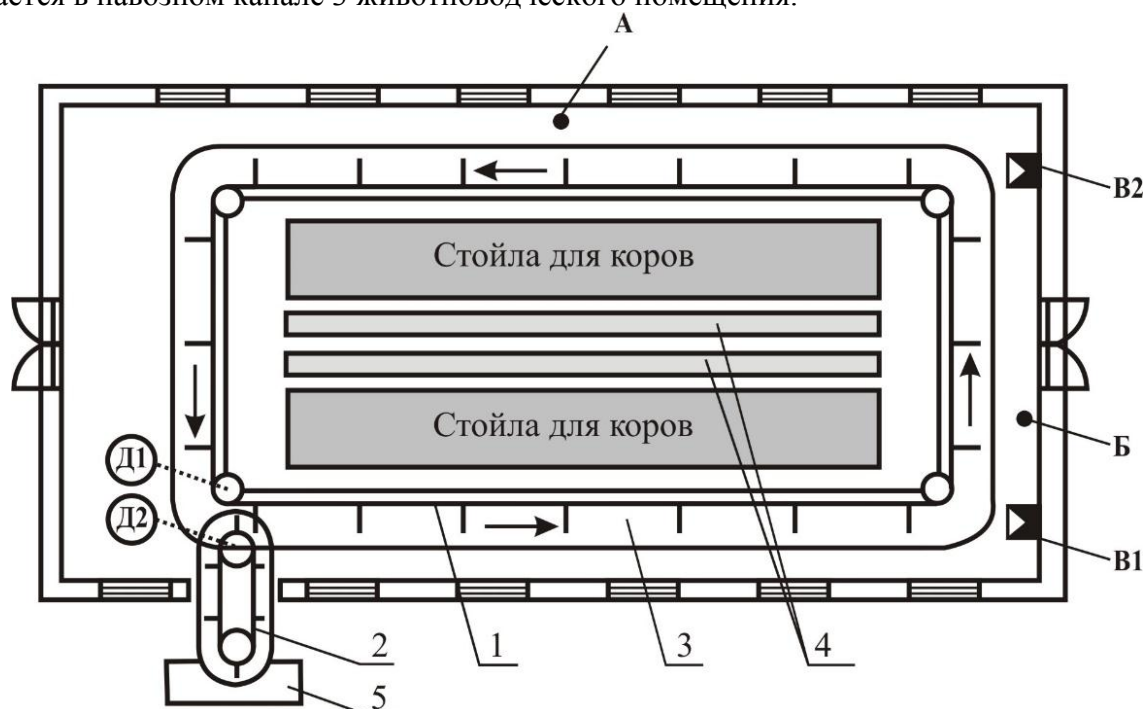


Рисунок 2 – Кинематическая схема системы навозоуборки двухрядного коровника:  
 1 – горизонтальный транспортер; 2 – наклонный транспортер; 3 – навозный канал;  
 4 – кормушки; 5 – навозосборник; Д1 и Д2 – приводные электродвигатели  
 горизонтального и наклонного транспортеров

Наклонный транспортер (НТ) 2 устанавливается под углом к горизонту не более  $30^{\circ}$  и имеет желоб, в котором расположена замкнутая цепь со скребками, которая движется в этом желобе за счет приводного электродвигателя Д2. Нижнюю часть НТ устанавливают под цепью ГТ, а под верхним концом НТ размещают навозосборник 5 для сбора навоза. Приводные электродвигатели Д1 и Д2 ГТ и НТ, а также пульт их управления установлены в зоне перегрузки навоза.

**Разработка схемы управления системы навозоуборочных транспортёров.** Проведенный анализ показал, что процесс работы навозоуборочных транспортёров характеризуется целым рядом специфических особенностей, которые необходимо учесть при разработке схемы их управления. Среди этих особенностей выделим следующие.

При работе ГТ навоз из навозного канала перемещается скребками цепи на нижнюю часть НТ, расположенную внутри помещения. НТ обеспечивает удаление навоза из помещения, подъем его на заданную высоту и загрузку навоза в навозосборник 5. При этом сбрасывать навоз на неподвижную ветвь НТ нельзя, так как в этом случае при пуске резко перегружаются его цепь и механизмы привода. Поэтому сначала включают НТ, затем ГТ. Выключают транспортеры в обратном порядке.

При работе ГТ нагрузка его приводного электродвигателя Д1 изменяется: при пуске нагрузка имеет максимальное значение, а по мере удаления навоза из навозного канала и перемещения его в приемную часть НТ нагрузка уменьшается. В конце цикла уборки нагрузка уменьшится до ее значения при холостом ходе. Расчеты показывают, что при пуске нагрузка примерно в 3÷4 раза больше, чем в конце уборки. Эту особенность работы ГТ необходимо учитывать при выборе электродвигателя для его привода. Этот выбор осуществляют с учетом требуемого пускового момента и мощности при

максимально возможной нагрузки в начале уборки. Для обеспечения высокой эксплуатационной надежности путем исключения работы при резком увеличении нагрузки на цепи вследствие ее заедания или заклинивания, ГТ должен иметь возможность кратковременно реверсироваться.

Характер изменения нагрузки на НТ иной: его пуск осуществляется вхолостую, затем нагрузка увеличивается до номинальной, после чего постепенно опять снижается до холостого хода. При этом скорость движения цепи НТ должна быть значительно выше, чем ГТ, что обеспечивает выгрузку жидкого навоза. Следует также учесть, что нагрузка на транспортеры при прочих равных условиях зависит от температуры навоза. Кроме того, в зимний период необходимо обеспечить чистоту желоба НТ для предотвращения примерзания его цепи. Для этого необходимо предусмотреть работу НТ вхолостую в течении примерно  $4 \div 5$  минут после остановки ГТ.

Навозоуборочные транспортера работают в достаточно тяжелых окружающих условиях, характеризующихся повышенным содержанием вредных газов, влажностью и т.д. Поэтому наряду с выполнением приведенных выше особенностей работы навозоуборочных транспортеров, схема их управления должна обеспечивать также защиту от коротких замыканий, обрыва фаз сети, самопроизвольного пуска (нулевая защита), превышения допустимой температуры, а также обеспечивать оперативное отключение двигателя при его перегрузки, неисправности кинематических элементов всей системы, нахождении в опасной зоне животных и/или людей.

На рис. 3 приведена принципиальная электрическая схема силовой цепи системы навозоуборочных транспортеров.

Приводные электродвигатели Д1 горизонтального и Д2 наклонного транспортеров управляются посредством преобразователей частоты ПЧ-1 и ПЧ-2 соответственно.

Для включения питания и защиты ПЧ (ПЧ-1 и ПЧ-2) и схемы управления от токов короткого замыкания используются автоматические выключатели QF1, QF2 и QF3.

Непосредственное управление режимами работы двигателей Д1 горизонтального и Д2 наклонного транспортеров, а также их защита (тепловая, от потери фаз, от заклинивания ротора и т.д.) обеспечивается частотными преобразователями ПЧ-1 и ПЧ-2.

Для управления самим ПЧ используются следующие его входы:

- GND – общий провод;
- M0 – при соединении которого с GND двигатель начинает вращаться в прямом направлении с заданным в ПЧ темпом ускорения, или осуществляется остановка с заданным в ПЧ темпом замедления;
- M1 – при соединении которого с GND, двигатель начинает вращаться в обратном направлении с заданным в ПЧ темпом ускорения, или осуществляется остановка с заданным в ПЧ темпом замедления если M0 не подтянут к GND;
- M2 – при соединении с GND привод может работать, при размыкании наступает немедленное отключение привода (торможение с выбегом) с блокировкой. После срабатывания, чтоб снять блокировку привода, нужно подать сигнал на M3;
- M3 – выполняет сброс блокировки привода. Сброс произойдет, если нет сигнала аварии M2;
- ACI – для внешнего задания выходной частоты используется аналоговый вход настроенный на 4-20мА.

Для сигнализации внешних цепей ПЧ использует выходы:

- KA1 и KA2 – для сигнализации аварийных состояний (срабатывания защит). Нормально открытые контакты (клеммы RA, RC), соответствующих ПЧ.
- MO1 – для сигнализации работы приводов. Транзисторный выход (клеммы MO1, MCM), соответствующих ПЧ.

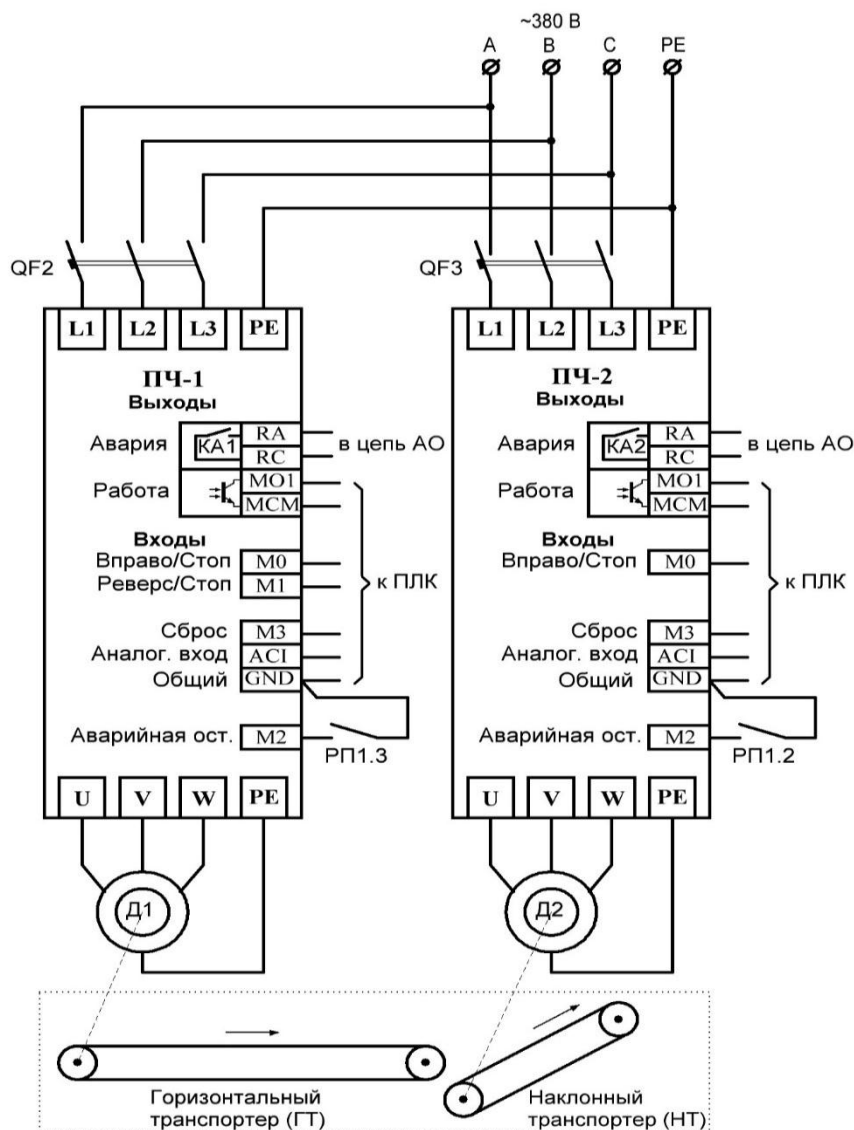


Рисунок 3 – Схема системы управления (силовая цепь)

Логику работы транспортеров, обработку сигналов с датчиков, кнопок, выдачу световых сигнализаций и т.д. выполняет программа, зашитая в программируемый логический контроллер (рис. 4).

Ввод данных в программируемый логический контроллер (ПЛК) осуществляется с помощью его цифровых и аналоговых входов, а выдача результатов с которого осуществляется с помощью его цифровых (релейных) и аналоговых выходов.

Для управления ПЧ-1 используются цифровые релейные выходы DO8, DO9, DO10 и аналоговый выход AO2 (4-20мА) подключенные к соответствующим входам ПЧ-1. Для управления ПЧ-2 используются цифровые релейные выходы DO6, DO7 и аналоговый выход AO1 (4-20мА), подключенные к соответствующим входам ПЧ-2. Для реализации аварийной остановки, и блокировка пуска до готовности всех элементов системы, используется промежуточное реле РП1.

Пуск и остановка электродвигателей Д1 ГТ и Д2 НТ осуществляется при помощи кнопок SB2, SB2', SB2'' и SB3, причем кнопки SB2 и SB3 располагаются в шкафу управления, а кнопки SB2' и SB2'' – в других местах коровника, удаленных от шкафа управления.

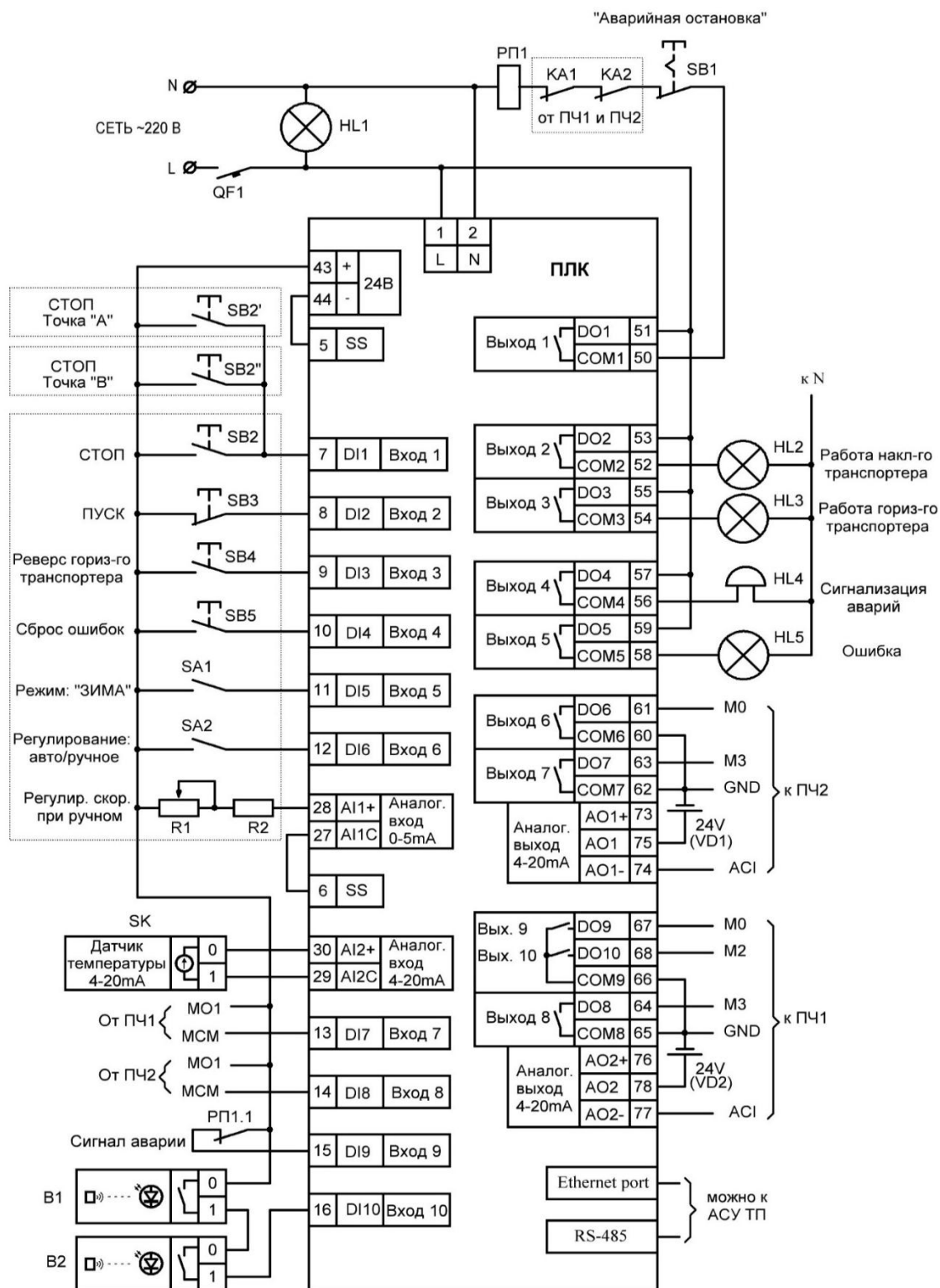


Рисунок 4 – Схема системы управления (цепи управления)

При нажатии кнопки SB3 ПЛК подает команду на включение системы транспортеров по заданному алгоритму работы. При этом программа ПЛК не допустит включения ГТ в прямом направлении при отключенном НТ. При запуске сначала запускается НТ, после разгона которого включается ГТ. Поскольку пуск ГТ требует большого пускового момента, то ПЧ-1, управляющий Д1, настроен на векторное управление, поскольку векторное управление дает высокий момент во время пуска вплоть до выхода

на номинальный режим. Можно также использовать скалярное управление с форсировкой момента.

Для кратковременного реверса ГТ предусмотрено кнопка SB4, причем алгоритм ПЛК для реверса обеспечивает работу в двух режимах:

- если транспортеры работают: при зажатой SB4, ГТ будет замедляться, до скорости равным нулю (темп замедления настраивается в ПЧ-1), после чего начнет вращаться в противоположную сторону. Теперь если отпустить ГТ снизит скорость до нуля и начнет вращаться в правильном направлении, при этом НТ как работал, так и работает.

- если транспортеры не работают: при нажатой SB4, ГТ начнет вращаться в обратном направлении и остановится после отпускания кнопки SB4.

Остановка транспортеров осуществляется посредством кнопки SB2. Для возможности оперативной аварийной остановки приводов транспортеров при нахождении оператора вдали от пульта управления кнопка “СТОП” SB2 дважды продублирована двумя кнопками SB2' и SB2'', которые располагаются, например, в центре коровника и в противоположном от места расположения электродвигателей Д1 и Д2 торце коровника (точки А и Б на рис 2).

Для сброса ошибок после аварийной остановки предусмотрено кнопка SB5.

Для предотвращения примерзания цепи и скребков наклонного транспортера в зимнее время предусмотрен тумблер SA1 включения режима “Зима”, при включении которого алгоритм ПЛК, после нажатия кнопки “СТОП” SB2, останавливает ГТ и только через 5 минут останавливает НТ. При этом, если НТ еще не остановился, при необходимости возможен повторный запуск ГТ.

Для выбора способа регулирования скорости (ручной или автоматический) предусмотрен тумблер SA2. При отсутствии автоматического управления для подачи сигнала задания скорости в ПЛК предусмотрен переменный резистор R1, подключенный к аналоговому входу AI1 (ПЛК) через токоограничивающий резистор R2. Частота вращения приводов ГТ и НТ может регулироваться от 30% до номинальной.

Для предотвращения повреждения НТ, программа ПЛК не допустит запуск при температуре ниже нормы. Данные о температуре окружающей среды поступают с температуры SK, подключенного к аналоговому входу ПЛК. Норма температуры задана в программе ПЛК. Если все-таки транспортер необходимо включить, то включится сирена без сигнала ошибки HL5. Если температура навоза увеличивается под воздействием температуры наружного воздуха, то при включенном тумблере SA2, т.е. при “автоматическом” управлении, программа ПЛК изменит скорость ГТ и НТ согласно заданной в программе зависимости  $n = f(t^0)$  путем подачи сигналов на аналоговый вход ПЧ-1 и ПЧ-2. В случае приближения человека и/или животного к опасной зоне, датчики движения В1 и В2 (см. рис 2), подключенные ко входу DI9, подают в ПЛК сигнал об этом. Далее, согласно программе, ПЛК включает сирену, размыкает релейный “выход 1” и питание промежуточного реле РП1 пропадает. Тем самым размыкаются контакты РП1.1, РП1.2 и РП1.3 и два последних подают сигнал аварийной остановки ПЧ-1 и ПЧ-2 с блокировкой приводов. Аварийная остановка производится на свободном выбеге. Сигналы работы для ПЧ при этом снимаются. Повторный запуск возможен после удаления из опасной зоны человека/животного после двойного нажатия кнопки SB5 сброса ошибки.

Для внешней аварийной остановки приводов в схеме управления предусмотрено фиксирующая кнопка аварийной остановки SB1, включенная в цепь аварийной остановки, при нажатии на которую останавливается работа приводов с невозможностью повторного включения (вне зависимости от других частей схем управления). Для сигнализации аварий, вызванных неисправностью ПЧ-1, ПЧ-2 и кнопки аварийной остановки SB1, к цифровому входу DI9 подключен нормально закрытый контакт РП1.1 промежуточного реле РП1.



Для визуальной сигнализации состояния всей систем предусмотрен ряд световых индикаторов: HL1, указывающий на наличие напряжения в сети; HL2 и HL3, сигнализирующие о работе НТ и ГТ соответственно; HL5 для индикации ошибок. Кроме того, предусмотрена сирена HL4 для сигнализации при возникновении аварий.

Следует отметить, что аварийную остановку вызывают также следующие причины:

- нажатие на аварийную кнопку;
- неисправность любого из ПЧ, а также срабатывание защиты двигателей (тепловая, КЗ, заклинивание, потери фаз и т.д.), QF2, QF3. Информация о всем этом получается через контакты ПЧ, а именно КА1 и КА2;
- по инициативе ПЛК;
- при выключенном цепи управления, т.е. QF1.

Условиями отсутствия аварий является:

- наличие питания всех цепей, т.е. QF1, QF2 и QF3 включены;
- ПЧ-1 включен и готов к работе (нормально открытые контакты КА1 “ЗАМКНУТО”);
- ПЧ-2 включен и готов к работе (нормально открытые контакты КА2 “ЗАМКНУТО”);
- кнопка аварийной остановки SB1 замкнута (нормальное состояние);
- ПЛК готов к работе (релейный выход 1 замкнут);
- в опасной зоне нет животных и людей, а температура не ниже предельно допустимой.

Нарушение хотя бы одного из перечисленных условий приводит к аварийной остановке приводов ГТ и НТ и блокировки приводов от включения путем размыкания контактов РП1.2 и РП1.3 подключенных к ПЧ-1 и ПЧ-2.

В процессе работы программа, зашитая в ПЛК, выполняет следующие операции:

1. В цикле опрашивает состояние входов DI1, DI2, DI3 и DI4 для определения нажатия кнопок и при нажатии выполняет соответствующие действия.

2. В цикле опрашивает состояние входа DI6 (авто/руч.), а также аналоговые входы AI1 и AI2 на основании которых выполняет следующие операции:

- в случае, если выбран ручное регулирование, то в переменную частоты записывается значение аналогового входа AI1, естественно умноженному на определенный коэффициент пропорциональности, с проверкой корректности;

- в случае автоматического управления в переменную частоты поддержания записывается значение взятой из зависимости  $f=f(t^{\circ})$  значение температуры берется с входа AI2, к которому подключен датчик температуры SK. Также на основании температуры по SK определяется нижний порог температуры, при достижении которого выполняет функцию аварийной остановки только без включения сирены, но с блокировкой приводов. Сбросить ошибку нельзя до тех пор, пока температура не станет допустимой для работы.

3. Каждый 0,5 секунды по DO6, DO9 и DO10 проверяет, поданы ли сигналы (выходы M0, M1) в оба ПЧ. При наличии хотя бы одного, подает на аналоговые выходы AO1 и AO2 ток, пропорциональный значению переменной частоты поддержания. При этом в момент нажатия кнопок пуск или реверс, на аналоговые выходы сразу подается ток, пропорциональный значению переменной частоты поддержания, который в этом цикле при необходимости изменяется и корректируется при работе.

4. В цикле проверяет вход от аварийной остановки DI9, к которому подключен контакт РП1.1, а также вход DI10, к которому подключен датчики движения. В обоих случаях дает сигнал аварийную остановку.

Для возможности модернизации и подключения системы навозоудаления к АСУ ТП биоэнергетического комплекса, в ПЛК предусмотрены интерфейсы ethernet и RS-485.

Экспериментальная проверка, проведенная в лабораторных условиях с использованием системы, содержащей два асинхронных электродвигателя типа 4А80В6, два частотных преобразователя Delta VFD-022М и программируемый логический контроллер типа ПЛК160 (М02), подтвердила работоспособность и эффективность разработанной схемы управления. Это позволяет рекомендовать ее к практическому применению при создании автоматизированных биоэнергетических комплексов по переработке органических отходов животного происхождения с целью получения из них биогаза и удобрений.

**Заключение.** Предложенная схема управления электроприводом системы навозоудаления, входящей в состав биоэнергетического комплекса, полностью обеспечивает выполнение всех требований, предъявляемых к совместной работе горизонтального и наклонного транспортеров. Регулирование приводными электродвигателями осуществляется посредством преобразователей частоты, управляемых программируемым логическим контроллером, для которых разработан алгоритм работы. При этом следует отметить, что разработанная схема управления устраняет рывки и удары при изменении режимов работы транспортеров, что повышает надежность и долговечность функционирования транспортеров.

При необходимости, разработанную схему можно увязать с работой всех остальных структурных составляющих этого биоэнергетического комплекса, организовав тем самым обобщенную АСУ ТП.

### *Литература*

1. Регламент (ЕС) № 1069/2009 Европейского парламента и Совета Европейского союза «Санитарные нормы в отношении побочных продуктов животного происхождения и производных продуктов, не предназначенных для потребления человеком», 21 октября 2009 г.
2. Сидоренко О.Д. Биоконверсия отходов агропромышленного комплекса. – М.: Инфра-М, 2018. – 160 с.
3. Сидоренко О.Д., Борисенко Е.Г., Ванькова А.А., Войно Л.И. Микробиология. – М.: НИЦ Инфра-М, 2016. – 286 с.
4. Егорова Т.А., Клунова С.М., Живухина Е.А. Основы биотехнологии. – М.: Академия, 2003. – 208 с.
5. Шукуров У.Ш., Акчалов Ш. Возобновляемые источники энергии в Кыргызской Республике: состояние, проблемы и перспективы // Проблемы автоматизации и управления. – 2015. № 1 (28). – С. 72-76.
6. Шомин А.А. Биогаз на сельском подворье. – М.: Балаклея, 2002. – 68 с.
7. Обозов А. Д. Возобновляемые источники энергии - основа экологической и экономической безопасности // Известия КГТУ, 2012, № 26. – С. 182-192.
8. Баадер В., Доне Е. Биогаз: теория и практика. – М.: Колос, 1982. – 148 с.
9. Добышев А.С., Пузевич К.Л., Острейко А.А. Подготовка смесей органического сырья для производства биогаза // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК: доклады Междунар. научно-практической конференции. – Минск: БГАТУ, 2013. – С 202-205.
10. Павлов П.И. Эффективные средства механизации для удаления и утилизации навоза // Естественные и технические науки. – 2017, №3 (105). – С. 87-89.