

Завод по переработке мусора

Весь код и всё выполненное можно найти в репозитории:

<https://github.com/Ultimatereo/YaProfiPI>

1. Введение

Автоматизированная система переработки вторичного сырья призвана значительно повысить эффективность и качество работы перерабатывающего завода. Традиционные методы сортировки отходов, основанные на ручном труде, не только медленны и неточны, но и ограничивают объем перерабатываемого сырья. Внедрение современных технологий автоматизации (конвейеры, сенсоры, робототехника, системы машинного зрения и др.) позволяет ускорить процесс, снизить долю ошибок и повысить процент извлекаемых полезных материалов из общего потока мусора. В такой системе конвейерная линия оснащается интеллектуальным оборудованием для автоматической сортировки, а человеческий фактор сводится к контролю и управлению процессом.

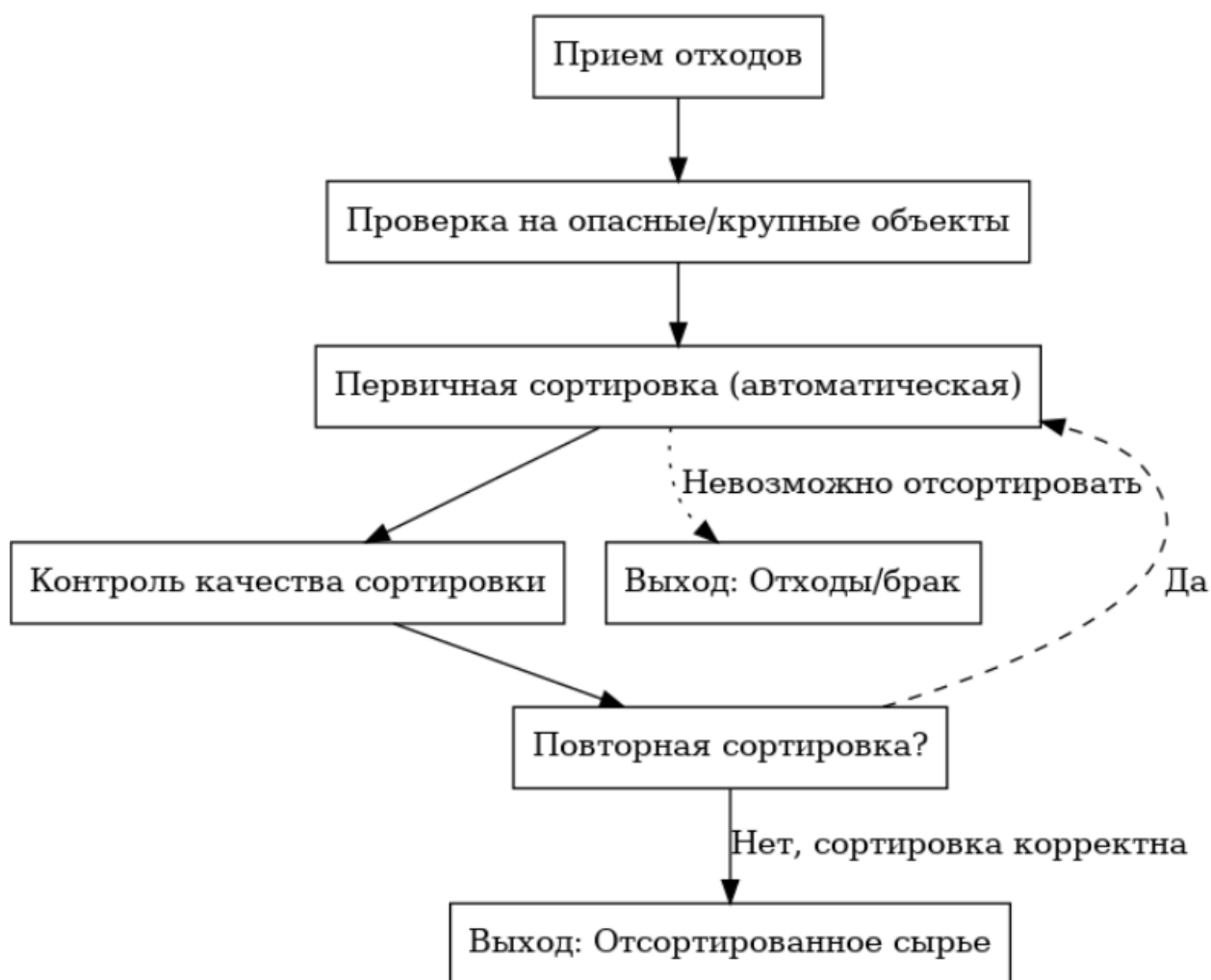
Цели системы: Основная цель – **максимальный отбор пригодного вторичного сырья** из поступающих отходов при минимальных затратах. Это достигается за счет автоматического разделения мусора на фракции (металл, пластик, бумага, стекло и пр.) с высокой точностью. Другие цели включают **повышение производительности** (пропускной способности линии, тонн в час), **улучшение качества сортировки** (минимизация примесей в отсортированных материалах), а также **повышение безопасности** и **снижение издержек** за счет уменьшения доли ручного. Важным результатом является **снижение нагрузки на полигоны** за счет увеличения доли переработанных отходов, что приносит не только экологическую, но и экономическую выгоду.

Критерии качества: Для оценки эффективности внедренной системы могут использоваться количественные и качественные показатели. К основным относятся процент извлечения вторсырья из общего объема отходов (доля переработанных материалов), чистота отсортированных фракций (процент посторонних включений), скорость обработки (тонн отходов в час), уровень автоматизации (процент операций, выполняемых без участия человека) и показатели бесперебойности (время простоев оборудования). Также важны показатели экономической эффективности – снижение операционных затрат на единицу переработанных отходов и увеличение прибыли от реализации вторсырья. Система считается успешной, если удастся переработать свыше 50% поступающего мусора на полезные фракции при одновременном снижении затрат и повышении безопасности персонала.

В целом, предлагаемое решение опирается на концепции **Industry 4.0** – интеграцию информационных технологий, датчиков и исполнительных устройств для создания интеллектуальной перерабатывающей линии. Автоматизация включает использование программируемых контроллеров, сенсоров для идентификации материалов, базы данных для учета операций и результатов, а также удобных интерфейсов для мониторинга. Ниже подробно рассматриваются ключевые аспекты проектирования и реализации такой системы.

2. Схема процесса приёма, сортировки и контроля сырья

Процесс переработки отходов на автоматизированном заводе начинается с **приёма сырья** и проходит через этапы сортировки, распределения по фракциям и проверки корректности полученных материалов. Ниже представлена блок-схема, иллюстрирующая основные этапы технологического процесса:



Блок-схема процесса приёма отходов, их сортировки и контроля качества. Поток отходов проходит через несколько стадий: от входного контроля до автоматической сортировки на линии, после чего следует проверка

качества и при необходимости – повторная сортировка. Материалы, не поддающиеся сортировке, выводятся как отходы (брак), а пригодное вторсырьё поступает на дальнейшую переработку.

Как видно из схемы, процесс начинается с **приёмки отходов**. Мусоровоз выгружает смешанные отходы в приемный бункер, где производится их взвешивание и первичный осмотр (). На этом этапе оператор или автоматические сканеры выявляют опасные или крупногабаритные объекты, которые необходимо извлечь вручную (например, батареи, электроника, камни, крупные металлические предметы). Далее отходы поступают на **первичную (автоматическую) сортировку** – лента транспортирует их через серию специализированных сепараторов и устройств:

- **Разрыватель мешков:** если отходы поступают в мешках, специальный автоматический нож-разрыватель вскрывает мешки, обеспечивая равномерное поступление мусора на линию ().
- **Грубое грохочение (сито):** вращающийся барабан или вибросито отделяет мелкие фракции (пыль, органические остатки) от крупного мусора. Также может применяться барабанный сепаратор для разделения по размеру.
- **Магнитный сепаратор:** над конвейером установлен магнит, который извлекает ферромагнитные металлы (железо, сталь) из потока (). Металлические предметы притягиваются магнитом и сбрасываются в отдельный контейнер.
- **Вихретоковый сепаратор:** для отделения цветных металлов (алюминия, меди и пр.) используется вихретоковая установка. Она создаёт переменное магнитное поле, выбивающее немагнитные металлические объекты с конвейера в отдельный бункер ().
- **Оптические сканеры:** далее по линии располагаются оптические сортировщики (NIR-сканеры, камеры видимого спектра). Они с высокой скоростью распознают материалы по спектральным характеристикам или по цвету. Например, NIR-сканер определяет виды пластика (ПЭТ, HDPE и т.д.) по их отраженному инфракрасному спектру, а система сжатого воздуха выдувает определенные объекты в соответствующие емкости.
- **Пневматический разделитель (воздушный классификатор):** поток воздуха отделяет легкие фракции (пленки, бумагу) от тяжелых. Легкие предметы уносятся воздушным потоком в циклон или фильтр, а тяжелые падают на другой конвейер ().
- **Баллистический сепаратор:** при необходимости используется баллистическое разделение — под углом качающаяся решетка разделяет плоские объекты (бумага, пленка) от объёмных (бутылки, контейнеры).
- **Дополнительные дробилки/шредеры:** крупные предметы (например, большие куски пластика или дерева) могут направляться на дробление.

Измельчение необходимо, чтобы подготовить однородный материал для последующей переработки или для более эффективной сортировки.

После прохождения через все этапы первичной сортировки отходы разделены на основные фракции: металлолом (черный и цветной отдельно), стекло, различные полимерные материалы по типам, бумага/картон, органические остатки. **Распределение сырья** происходит автоматически – каждая фракция собирается в свой накопительный бункер или контейнер. Материалы, которые **не удалось отсортировать** (слишком сложные смеси или отходы, не поддающиеся идентификации), отводятся в контейнер брака для последующего захоронения или отправки на энергоутилизацию (например, в RDF-топливо) ().

Далее следует **контроль корректности сортировки**. На этом этапе система и человек совместно оценивают качество разделения:

- **Автоматический контроль:** датчики в потоках могут оценивать, не попали ли посторонние объекты в отсортированные фракции (например, оптический датчик на линии бумаги обнаружит пластик по спектру). Также система ведет учет массы каждой фракции, сравнивая с исходной массой отходов, чтобы выявить потерянный материал.
- **Ручная проверка:** оператор контроля качества выборочно проверяет содержимое отобранных фракций. Например, может проводиться визуальный осмотр или лабораторный анализ проб – нет ли примеси пластика в бункере с бумагой, и т.п.

Если по результатам проверки обнаруживается, что чистота фракции недостаточна (присутствует значительный процент посторонних материалов), запускается **повторная сортировка**. Система может автоматически перенаправить подозрительную партию материала на дополнительный цикл сортировки (например, прогнать еще раз через оптический сепаратор с другими настройками). Либо оператор вручную удаляет загрязнения или перенастраивает оборудование и снова запускает материал по конвейеру. Информация о необходимости повторной сортировки фиксируется в системе – это важный параметр качества работы линии.

В случае если сортировка признана корректной (достигнут требуемый уровень чистоты по всем фракциям), отсортированное вторсырьё отправляется на следующую стадию: прессование и складирование. Пресс-пакеты (тюки) полученных материалов маркируются и учитываются в базе данных для последующей отправки потребителям. Вся статистика по объёмам отсортированных фракций и по случаям несоответствия качества сохраняется для анализа эффективности.

Отметим, что автоматическая линия сортировки **контролируется операторами** на важных этапах, несмотря на высокую степень механизации.

Особенно это касается контроля качества и устранения нештатных ситуаций (например, остановка линии при заклинивании конвейера, очистка сенсоров, извлечение застрявшего крупного предмета). Такой человеко-машинный подход обеспечивает наиболее высокое качество вторсырья: автоматизация отбирает максимум полезных материалов, а человек проверяет и гарантирует соответствие продукта стандартам.

3. Роли пользователей и их функции в системе

Для эффективной работы автоматизированного комплекса переработки отходов требуется взаимодействие нескольких категорий персонала. Каждая роль имеет свой набор функций в системе:

- **Оператор линии сортировки:** отвечает за непосредственное ведение технологического процесса на смене. Следит за работой конвейеров, сепараторов, датчиков. Через HMI-интерфейс (панель оператора) мониторит показания – скорость ленты, токи электродвигателей, сигналы аварий. В случае срабатывания сигнализации (например, перегруз двигателя, сбой сенсора) оперативно приостанавливает линию и устраняет проблему. Оператор также контролирует загрузку отходов в систему (следит, чтобы бункер не пустовал или не переполнялся) и может вручную удалять из потока крупные или опасные предметы, которые автоматика не смогла отсеять на этапе проверки. Если система выдает оповещение о необходимости повторной сортировки партии, оператор перенаправляет соответствующий материал на повторный цикл. Таким образом, оператор – это «глаза и руки» системы на месте, обеспечивающие бесперебойность работы оборудования.
- **Инженер-технолог (инженер по переработке):** специалист, занимающийся настройкой и оптимизацией технологических процессов сортировки. Он анализирует данные системы (отчет о составе отходов, статистику ошибок сортировки, логи работы оборудования) и при необходимости корректирует параметры. Например, инженер-технолог настраивает пороги срабатывания оптических сенсоров, программы ПЛК для изменения последовательности операций, скорость вращения барабанного сита в зависимости от морфологии отходов. Также он отвечает за *калибровку оборудования*: проверяет точность весов, калибрует камеры и датчики, обучает систему новым видам материалов (в случае использования ИИ и нейросетей для распознавания мусора – задает новые образцы для классификатора). Инженер-технолог разрабатывает регламенты – какие фракции отбирать, в каком порядке, и вводит эти настройки в систему. В его задачи входит обеспечение того, чтобы система извлекала максимальный процент вторсырья и соответствовала требуемым стандартам качества. Он же участвует во внедрении новых технических решений и модернизации линии.

- **Менеджер контроля качества:** курирует качество получаемого вторичного сырья. Он организует проверку проб материалов из каждой фракции – либо сам проводит осмотр и измерения, либо руководит лаборантами, если требуется анализ (например, влажности органики, загрязнений). Менеджер качества заносит в систему результаты проверок: процент брака, чистоту каждой партии. Если какая-то партия не соответствует критериям (например, в контейнере с пластиком обнаружено более 5% посторонних включений), менеджер качества инициирует процесс повторной сортировки для этой партии через интерфейс системы (отмечает ее как требующую переработки повторно). Он также следит за исправностью средств измерения (весов, датчиков качества) и за тем, чтобы операторы соблюдали процедуры контроля. В случае рекламаций от потребителей вторсырья (например, перерабатывающих заводов, получающих тюки пластика) – разбирает причины, на основе данных системы (логи, кто проверял, какие показания были). Фактически, менеджер качества обеспечивает обратную связь: корректирует параметры сортировки совместно с инженером-технологом, если видит систематические отклонения качества.
- **Инженер по обслуживанию оборудования (службамaintenance):** отвечает за техническое состояние линии. Проводит регулярный осмотр механизмов, плановое техническое обслуживание (смазка, замена изношенных частей, калибровка). Через систему мониторинга он получает **логи состояния оборудования** – показания датчиков вибрации, температуры подшипников, счетчики моточасов, аварийные сигналы. На основе этих данных инженер планирует ремонтные работы, чтобы предотвратить внезапные простои. Например, если видит в логах увеличение вибрации на сепараторе, назначает внеплановую диагностику. Он же отвечает за быстрое реагирование при сбоях: когда оператор сообщает об аварии или система посылает тревожное уведомление, инженер maintenance выезжает на линию для устранения (починки или замены узла). Кроме того, инженер обслуживает ИТ-оборудование, связанное с техникой – промышленные контроллеры, датчики, сетевое оборудование на линии.
- **Менеджер смены / начальник производства:** координирует работу всей смены и взаимодействие перечисленных ролей. Он контролирует выполнение плана по переработке (сколько тонн отходов нужно переработать за смену), перераспределяет ресурсы при необходимости (например, привлекает дополнительных рабочих на ручную сортировку при пиковых нагрузках). Через административный **дашборд** он отслеживает ключевые показатели: текущую производительность линии, процент брака, состояние оборудования (все ли узлы функционируют). В его обязанности входит принятие решений при нестандартных ситуациях – остановить производство в случае серьезной поломки, организовать очистку бункеров, вызвать

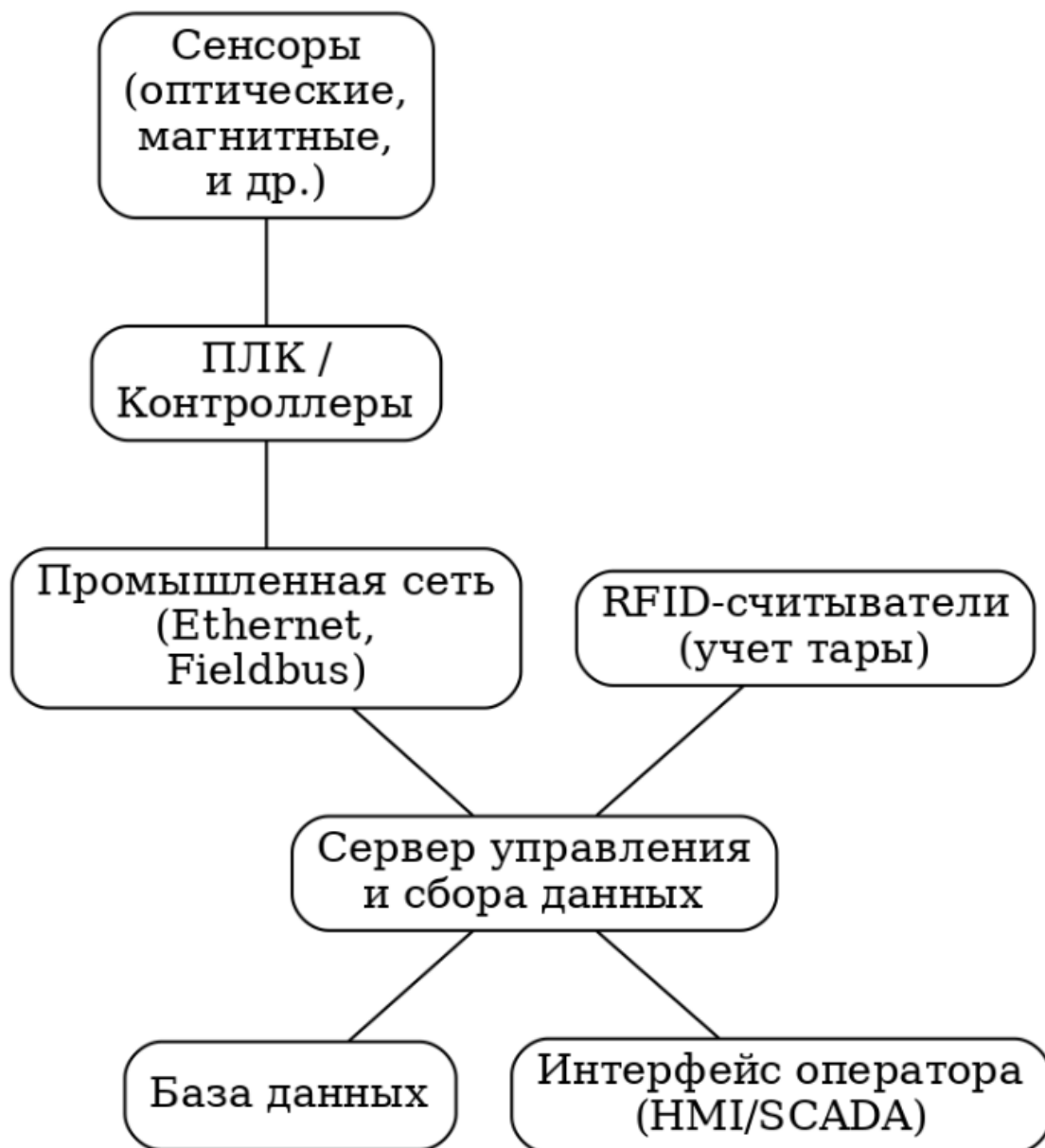
дополнительный транспорт для вывоза RDF-остатков и т.п. Он же отвечает за отчетность – формирует сменный отчет о работе комплекса, фиксирует возникшие проблемы и принятые меры.

- **Системный администратор / инженер АСУ ТП:** обеспечивает сопровождение программно-аппаратной части автоматизированной системы. Он отвечает за серверы, сеть, базу данных, ПО – чтобы все работало без сбоев. Регулярно делает резервные копии баз данных, следит за актуальностью программного обеспечения контроллеров и серверов. Если возникают проблемы с программной логикой (например, зависание SCADA-системы, сбой передачи данных), он их устраняет. Также sysadmin занимается управлением учетными записями пользователей системы (операторы, инженеры имеют разные права доступа) и информационной безопасностью – защита от несанкционированного доступа, вирусов. Внедрение обновлений и новых функций (например, подключение нового модуля отчетности) тоже проходит через него. Хотя эта роль не всегда выделяется в небольших предприятиях (ее может выполнять инженер АСУ), на крупном заводе наличие IT-специалиста критически важно для устойчивости цифровой инфраструктуры.

Каждая из перечисленных ролей взаимодействует с автоматизированной системой через соответствующие интерфейсы: операторы и инженеры – через экраны HMI/SCADA на рабочем месте, менеджеры – через веб-интерфейсы или клиентские приложения для доступа к дашбордам и отчетам, системный администратор – напрямую на уровне серверов и сетевых компонентов. Разграничение ролей и прав доступа обеспечивает надежную и безопасную эксплуатацию системы.

4. Архитектура системы: программные и технические компоненты

Общая архитектура: Автоматизированная система переработки представляет собой многокомпонентный комплекс, включающий оборудование для сортировки, сенсоры, контроллеры управления и программно-аппаратные средства сбора и обработки данных. На нижнем уровне находятся **физические устройства** – конвейеры, сепараторы, приводы, механизмы и датчики, объединенные системой управления. Верхний уровень – **информационная система**, выполняющая роль “мозга”: она координирует работу оборудования, сохраняет данные и предоставляет интерфейсы для пользователей. На схеме ниже показана упрощенная архитектура системы с основными компонентами и связями между ними:



Архитектура системы автоматизации переработки

Архитектура системы автоматизации переработки вторсырья. Физические сенсоры и исполнительные механизмы подключены к контроллерам (ПЛК), которые по промышленной сети связываются с центральным сервером управления. Сервер сохраняет данные в базе данных и предоставляет информацию операторам через HMI/SCADA. Дополнительно, RFID-считыватели используются для идентификации партий и тары на входе/выходе системы.

Оборудование и датчики: База технологической линии – это **механическое оборудование для сортировки**, включающее:

- **Конвейеры:** ленточные транспортёры перемещают отходы через все узлы. Они оснащены датчиками скорости, загрузки (например,

тензодатчики могут измерять массу материала на ленте) и средствами аварийной остановки.

- **Сепараторы:** магнитные (постоянные магниты или электромагниты над лентой), вихретоковые барабаны, пневмосепараторы (воздушные каналы), оптические сортировщики – перечисленное оборудование разделяет поток отходов на фракции по различным физическим признакам. Каждый сепаратор имеет свои сенсоры контроля: магнитный – датчик напряженности поля и металлодетектор, оптический – камеры и подсветка, пневмосепаратор – датчики потока воздуха и т.д.
- **Дробилки, шредеры:** могут стоять на линии для измельчения крупного материала. Оснащены датчиками вибрации, тока двигателя (чтобы контролировать нагрузку).
- **Прессы для вторсырья:** на выходе фракций стоят пресс-компакторы, формирующие тюки бумаги, пластика, металлов. Они также автоматизированы (управляются контроллером), имеют датчики давления, положения плиты прессы.
- **Прочие механизмы:** грейферный кран или манипулятор для подачи отходов из бункера на линию, системы дозирования и подачи, шнеки, помпы (если переработка влажных отходов или жидкостей) – все включено в общую систему.

Для контроля процесса на каждом ключевом узле установлены **сенсоры (датчики)**. Это могут быть: оптические датчики наличия объекта на ленте, ультразвуковые датчики уровня заполнения бункеров, инфракрасные датчики пламени (для обнаружения возгорания), температурные датчики в двигателях, энкодеры для отслеживания положения механизмов, фотоэлектрические датчики цвета/спектра, 3D-сканеры для объёмных объектов и др. Также задействованы **RFID-метки** и считыватели: например, каждая партия отходов при поступлении может маркироваться RFID-меткой, содержащей информацию о происхождении и составе. Считыватели на линии фиксируют прохождение партии через этапы, или RFID используется для учета выходящих тюков вторсырья (метки на готовых пакетах для учета на складе).

Устройства управления (контроллеры): Вся полевая автоматика подключена к сети **ПЛК (программируемых логических контроллеров)**. Контроллеры сбора данных и управления получают сигналы от датчиков и отдают команды исполнительным устройствам. Например, ПЛК управляет мотором конвейера (частотным преобразователем) – поддерживает нужную скорость, останавливает при перегрузе; обрабатывает сигнал от фотодатчика, чтобы вовремя включить пневмоотвод для выдува бутылки и т.д. Контроллеры запрограммированы согласно логике технологического процесса (алгоритмы могут быть реализованы на языках стандарта IEC 61131-3: Ladder Diagram – релейная логика, Function Block Diagram,

Structured Text и др.). На крупных объектах используется несколько взаимосвязанных контроллеров: локальные ПЛК на отдельных сегментах линии (например, один – на участке магнитных/вихретоковых сепараторов, другой – на оптической станции, третий – на прессовальной секции) и верхний контроллер/промышленный компьютер для координации. Они объединены в промышленную сеть для синхронизации и обмена данными.

Промышленная сеть: Контроллеры и сенсоры связываются с верхним уровнем через надежную сеть, часто это Ethernet-сеть с промышленными протоколами (PROFINET, EtherNet/IP, Modbus TCP и пр.) или шина Fieldbus (Profibus, CAN, MODBUS RTU и др. для некоторых узлов). Сеть обеспечивает передачу команд управления и телеметрии в реальном времени. Также интегрируются протоколы для устройства верхнего уровня: например, **OPC UA** сервер на контроллере экспонирует все данные в унифицированном виде для сбора на центральном сервере. Особое внимание уделяется отказоустойчивости сети – используются коммутаторы промышленного исполнения, резервирование линий (дублирование), помехозащищенные кабели, чтобы система работала бесперебойно в жёсткой среде (пыль, помехи от моторов).

Сервер управления и база данных: На верхнем уровне архитектуры – **промышленный сервер** (или несколько), который выполняет функции сбора данных (SCADA) и высокоуровневого управления. Сервер получает от ПЛК все поступающие данные: показания датчиков, события (например, сработал конец ленты, металл обнаружен, мотор отключен по перегрузке и т.д.). Эти данные сервер **записывает в базу данных** в режиме реального времени. База данных, как правило реляционная (например, PostgreSQL или MySQL), хранит информацию о поступлениях отходов, результатах сортировки, состоянии оборудования и др. (см. раздел 5 для структуры БД). Сервер также может выполнять расчетные задачи – агрегировать показатели (например, суммарный тоннаж переработки за смену), анализировать тренды (падение производительности, рост температуры) и инициировать высокоуровневые действия. Например, если в базе зафиксировано, что определенная партия не прошла сортировку успешно, сервер сформирует задание на повторную сортировку и передаст на ПЛК команду перенаправить эту партию.

Программное обеспечение: ПО верхнего уровня может быть реализовано как готовая SCADA-система либо как индивидуально разработанное приложение. В случае SCADA (например, Wonderware, Ignition, WinCC и др.) – конфигурируются экраны, теги, тревоги, используя графические средства и встроенные скрипты (на языках вроде Python, Lua). При разработке кастомного решения могут быть задействованы универсальные языки: Python, C# или Java для серверной части, C/C++ для низкоуровневого взаимодействия с OPC и драйверами, SQL для работы с БД. Веб-сервер может предоставлять интерфейс дашборда (стек: HTML/CSS/JavaScript,

возможно фреймворки типа React для интерактивных панелей). Таким образом, стек технологий включает в себя и промышленное ПО ПЛК, и базы данных, и современные языки веб-разработки.

Взаимодействие компонентов: Контроллеры автоматизации выполняют **локальный контур управления** (например, поддерживают работу конвейера), а сервер решает **глобальные задачи координации**. Связка происходит следующим образом: датчики → ПЛК → (протокол связи) → сервер → база данных/алгоритмы → команда обратно ПЛК → исполнительные механизмы. Например, когда менеджер качества через интерфейс на сервере указывает, что партия X требует пересортировки, эта команда записывается в базу и сервер отправляет сигнал ПЛК не отправлять партию X на выход, а перенаправить ее в начало линии. Другой пример – RFID считывает информацию о контейнере с готовым сырьем, сервер по ID подтягивает из базы данные (что это за материал, какой вес) и отображает оператору погрузки, одновременно пометая в базе как «отгружено».

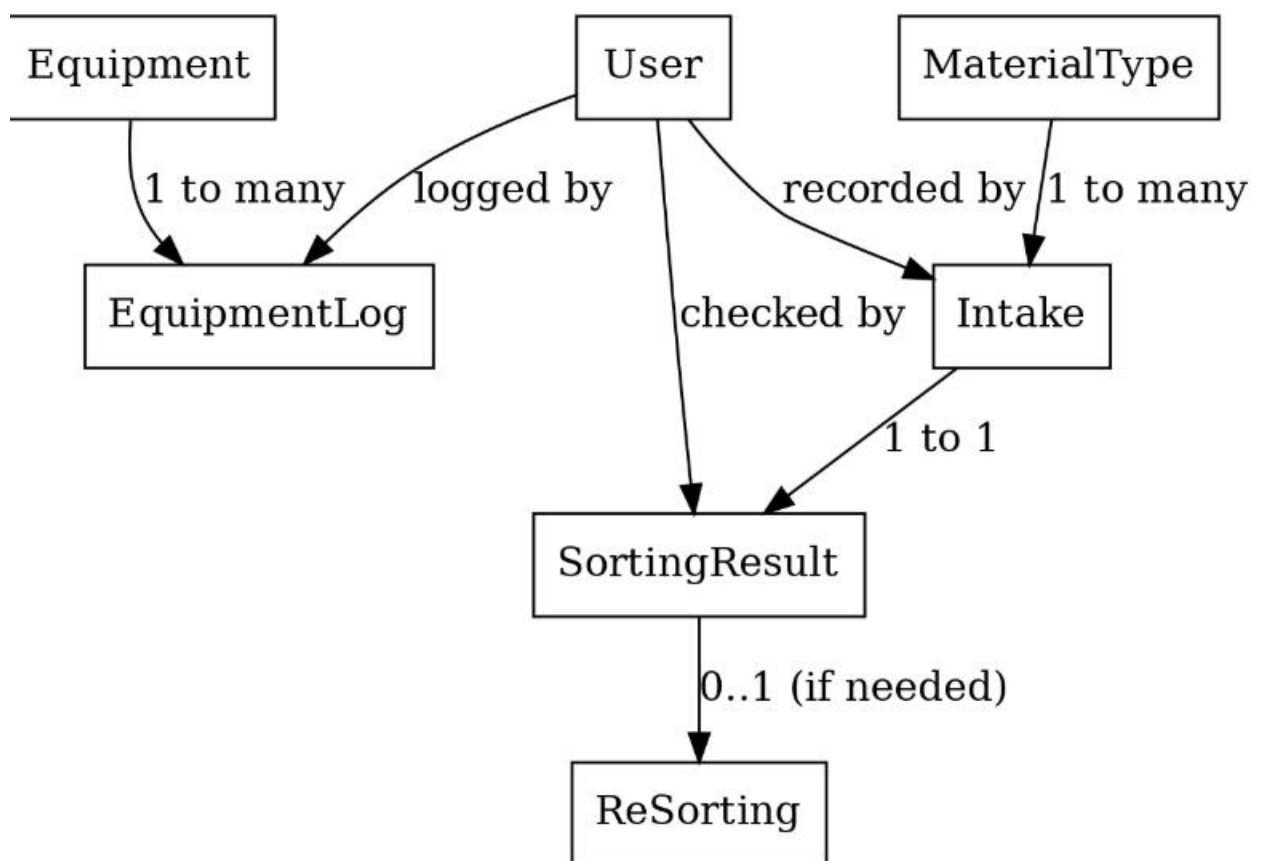
Оборудование для идентификации и прослеживаемости: Помимо RFID, могут использоваться QR-коды или штрихкоды на партиях. Также устанавливаются камеры видеонаблюдения, интегрированные с системой (через видеосервер), для визуального контроля. Все это оборудуется и связывается с сервером. Система уведомлений (сирены, сигнальные лампы) подключается либо к ПЛК, либо напрямую к серверу (через PLC или сетевые оповещения).

Выбор оборудования и технологий: При проектировании архитектуры учитываются требуемые объемы и условия. Например, если планируется перерабатывать 500 тыс. тонн отходов в год, то линия оснащается несколькими параллельными потоками и высокопроизводительными сепараторами. Выбор ПЛК зависит от сложности: популярны Siemens S7-1500, Allen Bradley ControlLogix, Schneider Modicon – с достаточным количеством входов/выходов и поддержкой нужных сетевых протоколов. Серверное ПО: если нужен гибкий аналитический дашборд – ставится SCADA-платформа с OPC UA связью; если упор на собственную разработку – то промышленный ПК с Linux/Windows, на котором запускается приложение, взаимодействующее с БД. Язык программирования серверной логики может быть Python (благодаря множеству библиотек для OPC, SQL, анализа данных) или C# (.NET) для хорошей интеграции с Windows-средой. База данных – PostgreSQL за надежность и открытость, либо MSSQL/Oracle если в инфраструктуре приняты коммерческие СУБД. Для HMI панелей операторов используются промышленные панели с сенсорным экраном, поддерживающие либо встроенную SCADA-клиент, либо веб-клиент к серверу. В совокупности, архитектура представляет распределенную систему, где поля (оборудование) и офис (сервер, база, интерфейсы) работают в едином комплексе.

Принципы взаимодействия: Система построена модульно и масштабируемо. Новое оборудование или датчики могут быть добавлены в сеть при расширении завода – достаточно подключить их к ПЛК и внести изменения в программу и базу. Данные стандартизированы (единые справочники типов отходов, кодов состояний оборудования и т.п.), что облегчает интеграцию. Обмен данными между компонентами защищен (фильтрация сетевого трафика, VPN при удаленных подключениях) во избежание внешнего вмешательства. Пользователи взаимодействуют с системой на своем уровне: операторы – через локальные панели, менеджеры – через серверные дашборды, но под капотом все связаны общей базой данных, обеспечивающей целостность информации.

5. Инфологическая и даталогическая модели базы данных

Инфологическая модель: Для управления технологическими и управленческими данными создается база данных, структура которой отражает основные сущности (сущности предметной области) и связи между ними. Ниже представлена ER-диаграмма (сущность-связь) информационной модели системы:



ER Diagram for Database

ER-диаграмма базы данных системы. Основные сущности: "Поступление" (партия входящих отходов), "Результат сортировки" (информация о

качестве сортировки данной партии), "Повторная сортировка" (запрос/факт повторной обработки партии), "Оборудование" (единицы техники на заводе) и "ЛогОборудования" (записи о состоянии и событиях оборудования). Вспомогательные сущности: "Пользователь" (для указания, кто выполнил ту или иную операцию) и справочник "Тип материала". Стрелками показаны ключевые связи между сущностями (например, каждая запись поступления имеет результат сортировки; результат может иметь запись о необходимости пересортировки; оборудование связывается со множеством лог-записей).

По диаграмме видно, что модель данных охватывает как производственные процессы, так и техническое обслуживание. Ключевые сущности и их взаимосвязи:

- **Поступление отходов** – каждое поступление (партию) можно охарактеризовать датой, объемом и типом сырья. Сущность "Поступление" связана с сущностью "Результат сортировки" один-к-одному, т.к. для каждой поступившей партии фиксируется один итог её сортировки (или один акт сортировки). Также "Поступление" связано со справочником "Тип материала" (указывающим основной вид отходов, например ТБО смешанные, пластик вторичный, макулатура и т.п.) – одна запись типа может относиться ко многим поступлениям. Каждое поступление регистрируется пользователем (например, оператором весовой), потому связь от "Пользователь" к "Поступление" (кто **recorded by** – записал поступление).
- **Результат сортировки** – содержит данные о том, как прошла сортировка конкретной партии. Имеет связь с "Поступление" (чей это результат) и может иметь связь с "Повторная сортировка" (если потребовалась повторная обработка, отношение 0 или 1, то есть у результата может быть ноль или одна связанная запись пересортицы). Результат проверки качества часто вносит менеджер качества, потому связь "Пользователь" → "Результат сортировки" (кто **checked by** – подтвердил качество).
- **Повторная сортировка** – сущность фиксирует случаи, когда партия отправлена на повторный цикл. Связана с конкретным результатом сортировки (или напрямую с поступлением – но логичнее через результат). Поле может включать причину (текст или код, например "высокий процент примесей"), дату повторной сортировки, результат повторной сортировки (можно дополнительно связать на себя или статус). Связь "0..1 (if needed)" указывает, что для большинства записей сортировки повторная обработка не требуется, и эта сущность используется только при необходимости.
- **Оборудование** – справочник всех единиц техники и линий. Здесь хранятся сведения о датчиках и машинах: уникальный идентификатор, название (например, "Магнитный сепаратор №2"), тип оборудования

(можно дополнительным справочником, типы: конвейер, сепаратор, пресс и т.д.), модель/производитель, дата ввода в эксплуатацию, плановые интервалы обслуживания и т.д. Сущность "Оборудование" связана со многими записями "ЛогОборудования" (отношение один-ко-многим, т.е. один элемент оборудования порождает множество лог-записей за время работы).

- **Лог состояния оборудования** – эта сущность предназначена для регистрации событий и параметров работы техники. Каждая запись лога содержит: время (timestamp), ссылку на конкретное оборудование, тип события или параметра, значение. Например, лог может содержать события: *EquipmentID=5 (конвейер1), time=12:00, event="Перегрузка", value= motor_current=50A*; либо периодические записи: *EquipmentID=3 (сепаратор), time=12:00, event="Температура", value=75°C*. Такие логи позволяют отслеживать историю работы и автоматизированно анализировать (для предупреждения поломок). Также уместно хранить в логе факты обслуживания: *EquipmentID=5, event="ТО выполнено", user=Technician*. Логи связываются с пользователем (кто зафиксировал, если это ручная запись; автоматические датчики могут писаться от имени системной учетной записи).
- **Пользователь** – в модели представлен для связывания с операциями (опционально). Содержит данные пользователей системы: ID, имя, роль (оператор, инженер и т.д.), контакты. В ER-диаграмме показано, что пользователь может фигурировать при записи поступлений, при верификации результатов сортировки, при вводе логов (например, инженер обслуживающий может вручную внести запись о ремонте).
- **Справочники:** "Тип материала" уже упоминался (классификатор видов отходов: орготходы, пластик, металл, стекло...). Дополнительно могут быть справочники "Коды событий оборудования" (для логов), "Причины пересортировки" и т.п. – для стандартизации вводимых данных.

Даталогическая модель (таблицы): На основе инфологической модели разрабатываются таблицы базы данных с указанием полей, их типов и связей (primary/foreign keys). Приведем основные таблицы и их структуру:

- **Таблица "Поступления"** – хранит информацию о каждой партии отходов, поступившей на завод.
 - *ID* (INT, PK, автоинкремент) – уникальный идентификатор партии.
 - *ДатаВремя* (DATETIME) – время приемки отходов.
 - *ТипОтходов* (INT, FK->СправочникТипов) – ссылка на категорию/тип сырья.
 - *Вес* (DECIMAL(10,2)) – масса партии, кг (или объем, м³, в зависимости от учета).

- *Источник* (VARCHAR(100)) – источник отходов (опционально, например, название поставщика или участок города).
- *Принял* (INT, FK->Пользователи) – ссылка на пользователя/оператора, оформившего прием.

Связи: Первичный ключ – ID. Внешний ключ на справочник типов отходов, внешний ключ на пользователя.

- **Таблица "РезультатыСортировки"** – содержит показатели сортировки каждой партии.
 - *ID* (INT, PK) – уникальный ID записи результата.
 - *ПартияID* (INT, FK->Поступления) – ссылка на поступление, которому соответствует этот результат (1:1 связь).
 - *ДатаСортировки* (DATETIME) – время завершения сортировки партии.
 - *ЧистотаФракций* (DECIMAL(5,2)) – совокупный показатель чистоты, %, например доля исходного веса, успешно отобранного как вторсырье.
 - *Описание* (TEXT) – дополнительная информация: может хранить JSON с детализацией, например: {бумага: 30кг, пластик: 20кг, металл: 5кг, отходы: 5кг}, либо примечания оператора.
 - *ТребуетсяПовторной* (BOOLEAN) – флаг, выставленный системой или менеджером качества: true, если требуется повторная сортировка.
 - *Проверил* (INT, FK->Пользователи) – ссылка на пользователя (менеджера качества), утвердившего результат.

Связи: ПартияID – внешний ключ на таблицу Поступления (с уникальным индексом, т.к. 1:1). Поле ТребуетсяПовторной может также детализоваться внешней связью на таблицу ПовторнойСортировки (но можно и простым флагом + ссылка).

- **Таблица "ПовторныеСортировки"** – учитывает случаи пересортировки.
 - *ID* (INT, PK) – идентификатор записи.
 - *РезультатID* (INT, FK->РезультатыСортировки) – ссылка на результат сортировки, который потребовал повторного вмешательства.
 - *Причина* (VARCHAR(255)) – текстовая причина или код (например, "Высокий процент мусора в пластике").
 - *ДатаПовтора* (DATETIME) – время, когда повторная сортировка выполнена.
 - *РезультатПовтора* (VARCHAR(100)) – итог повторной сортировки (например, "успешно, чистота 98%").

- *Ответственный* (INT, FK->Пользователи) – кто проводил/контролировал пересортировку.

Связи: РезультатID – внешний ключ на результат сортировки (таким образом связывается с партией через него). В зависимости от логики, может быть 1 к 0..* (если позволено несколько повторных, но, как правило, либо 0, либо 1 повторная обработка; если более – новые записи ссылаются на тот же результат? Возможна организация иначе, но для простоты считаем максимум одну повторную операцию).

- **Таблица "Оборудование"** – перечень оборудования.
 - *ID* (INT, PK) – уникальный код оборудования.
 - *Название* (VARCHAR(100)) – например, "Конвейер подачи", "Магнитный сепаратор 1".
 - *ТипОборудования* (VARCHAR(50)) – тип/категория (конвейер, сепаратор, дробилка, пресс, датчик и т.д.).
 - *Модель* (VARCHAR(50)) – модель или марка (например, "SSI Shredder 4500").
 - *ДатаУстановки* (DATE) – когда введено в эксплуатацию.
 - *Статус* (VARCHAR(20)) – может хранить текущий статус ("В работе", "Остановлен", "На обслуживании").
 - *Примечания* (TEXT) – доп. информация: характеристики, инвентарный номер, расположение на схеме.

Связи: На эту таблицу ссылаются логи оборудования. Можно также связывать с планами ТО (отдельная таблица графика обслуживания).

- **Таблица "ЛогОборудования"** – журнал событий и параметров.
 - *ID* (INT, PK) – уникальный ID события.
 - *ОборудованиеID* (INT, FK->Оборудование) – ссылка на оборудование.
 - *Время* (DATETIME) – дата и время события/измерения.
 - *ТипСобытия* (VARCHAR(50)) – категория записи (напр., "авария", "предупреждение", "параметр", "ТО").
 - *Сообщение* (VARCHAR(255)) – описание события или название параметра. Например, "Температура подшипника", "Простой/останов", "Замена подшипника".
 - *Значение* (VARCHAR(100)) – значение, связанное с событием (например, "85°C", "Остановлен на 5 мин", "ОК").
 - *ПользовательID* (INT, FK->Пользователи) – кто зафиксировал (если автоматическая запись, может быть null или ID системного пользователя).

Связи: Внешний ключ на оборудование, внешний ключ на пользователя (может быть nullable). Для быстрого поиска событий можно добавить индекс по полю ТипСобытия или Время.

- **Таблица "Пользователи"** – учетные записи (при необходимости в БД).
 - *ID* (INT, PK) – уникальный ID пользователя.
 - *Имя* (VARCHAR(100)) – ФИО или логин.
 - *Роль* (VARCHAR(50)) – роль (оператор, инженер, админ и т.п.).
 - *Контакты* (VARCHAR(100)) – контактная информация (телефон, email).
 - *ХешПароля* (VARBINARY) – для системы безопасности (если нужна аутентификация).

Связи: Не напрямую связана, кроме как через внешние ключи в вышеперечисленных таблицах.

- **Справочные таблицы:** Например, "**СправочникТиповОтходов**" (ID, Название типа) – содержит записи вроде 1: "ТБО смешанные", 2: "Пластик PET", 3: "Макулатура" и т.д. Эту таблицу используют Поступления (и потенциально РезультатыСортировки, если хранить состав). Другой справочник – "**КодыСобытийОборудования**" (для стандартизации поля ТипСобытия в логе). Также "**ПричиныПовтора**" (пересортировки) – код и описание причин.

Предложенная структура обеспечивает хранение всех необходимых данных: от прихода отходов и результатов переработки до детальных логов работы оборудования. Это позволяет в любой момент получить полную картину работы завода и извлечь нужную информацию. Например, можно запросом из БД узнать, сколько тонн пластика было отобрано за месяц, какие партии требовали повторной сортировки и по каким причинам, сколько часов каждый сепаратор работал и сколько раз останавливался по аварии и т.д. – все эти сведения хранятся в связанных таблицах.

6. Описание процессов переработки (BPMN/блок-схема)

В системе переработки реализовано несколько взаимосвязанных **бизнес-процессов**, каждый из которых включает как автоматизированные шаги, так и действия персонала. Ниже описаны основные процессы в нотации, близкой к BPMN, с указанием ответственных ролей и взаимодействия с системой:

Процесс 1: Приём и регистрация отходов. Этот процесс начинается, когда на завод прибывает партия отходов (например, мусоровоз).

- **Шаг 1.1: Взвешивание и идентификация.** Оператор весовой (часть роли оператора линии) размещает транспорт на весы. Система считывает

показания веса. Если используются RFID-метки на контейнерах или машинах, считыватель автоматически идентифицирует источник. Оператор в интерфейсе вводит тип отходов (если известен) и подтверждает приём.

- **Шаг 1.2: Регистрация в базе.** Система создаёт запись в таблице "Поступления" с присвоением уникального номера партии, фиксирует дату/время, вес и прочие данные. При необходимости печатает этикетку или RFID-метку для партии.
- **Шаг 1.3: Размещение в бункере.** Отходы разгружаются в приёмный бункер. Оператор завершает процесс приёмки. Далее партия переходит в процесс сортировки.

Процесс 2: Автоматическая сортировка партии. Это сквозной технологический процесс, выполняемый в основном автоматически, под надзором оператора линии.

- **Шаг 2.1: Подача на линию.** Система управления включает пластинчатый питатель или конвейер, подающий отходы из бункера на сортировочную линию. Скорость подачи регулируется, исходя из заданной производительности (например, 20 тонн/час).
- **Шаг 2.2: Механическая и автоматическая сортировка.** Отходы последовательно проходят через узлы: сито, магниты, оптические сортировщики и т.д., как описано в разделе 2. ПЛК последовательно активирует необходимые механизмы, направляет потоки материалов в соответствующие тракты. Каждый узел передает сигналы о своем состоянии на сервер (например, срабатывание датчика металла вызывает событие в лог, а также может инкрементировать счетчик отбора металла для отчета).
- **Шаг 2.3: Мониторинг процесса.** Оператор в реальном времени наблюдает за параметрами через НМІ: графически отображается текущий участок (например, анимированная схема конвейера), показания датчиков, сообщения. Если что-то идет не так – например, камера сортировщика не функционирует или лента остановилась – срабатывает тревожный сигнал. Оператор может нажать кнопку паузы/стопа на панели при необходимости.
- **Шаг 2.4: Сбор фракций.** Отсортированные материалы поступают в свои накопители. Когда датчик уровня в каком-то бункере сработал (контейнер заполнен), ПЛК приостанавливает линию и оповещает оператора разгрузить контейнер. Оператор подтверждает через НМІ после выполнения.
- **Шаг 2.5: Завершение партии.** Когда вся партия отходов прошла через линию, система останавливает конвейеры. Сервер суммирует собранные объемы фракций (получает от ПЛК информацию, сколько кг в каждом бункере, либо взвешивает тюки после прессования). Эти данные формируют запись в "РезультатыСортировки" для данной

партии: сколько и чего отобрано, сколько ушло в отходы (непереработанный остаток).

Процесс 3: Контроль качества сортировки. Параллельно с окончанием технологической сортировки запускается процесс проверки.

- **Шаг 3.1:** *Анализ данных системой.* Система может автоматически сравнить показатели: например, сумма масс всех фракций + отходы vs исходная масса партии – вычислить процент переработки. Если он ниже заданного порога (скажем, менее 50%), это сигнал о сбое (много неотсортированного ушло в отходы). Также анализируется чистота: если оптические датчики на потоках выдавали предупреждения о чужеродных предметах, система отмечает потенциальную проблему.
- **Шаг 3.2:** *Инспекция менеджером качества.* Менеджер (или уполномоченный сотрудник) берет пробы из каждой фракции – небольшое количество материала – и визуально/лабораторно оценивает чистоту. Например, в пробе пластика нет ли посторонней бумаги, и наоборот. Результаты оценки (процент примесей) он вводит в интерфейс качества.
- **Шаг 3.3:** *Решение о повторной сортировке.* На основе данных шага 3.1 и 3.2 принимается решение: требуются ли дополнительные меры. Если одна из фракций загрязнена выше нормы, менеджер отмечает в системе "требуется пересортировка" для соответствующей партии (или конкретной фракции). Система помечает запись результата сортировки флагом и создает задачу на пересортировку. Если все в пределах нормы, партия отмечается как "сортировка завершена успешно".
- **Шаг 3.4:** *Оформление результатов.* Менеджер качества утверждает результат. Система фиксирует имя проверяющего, время и заключение (годно/негодно). Эта информация обновляет запись в таблице результатов сортировки. Одновременно, если все хорошо, партия считается готовой к выходу – можно отправлять вторсырье на склад.

Процесс 4: Повторная сортировка (если требуется). Если предыдущим процессом выявлено несоответствие, запускается дополнительный цикл.

- **Шаг 4.1:** *Настройка на повтор.* Инженер-технолог анализирует, почему произошел сбой (например, оптический сортировщик не распознал черный пластик, и много пластика ушло в остатки). Он может изменить настройки оборудования: увеличить чувствительность сенсора, уменьшить скорость ленты для более тщательной сортировки и т.д.
- **Шаг 4.2:** *Запуск повторного цикла.* Отобранная проблемная фракция или смешанные остатки загружаются обратно в систему (вручную или автоматически, если есть возвращающий конвейер). Партии присваивается тот же ID или новый суб-ID, но она связана с исходной.

- **Шаг 4.3: Сортировка и контроль.** Процесс аналогичен основному (Процесс 2 и 3), только с особыми настройками и меньшим объемом. После повторной сортировки менеджер качества снова проверяет проблемную фракцию. Обычно повторная обработка значительно повышает чистоту до нормы. Система обновляет запись в "ПовторныеСортировки" со статусом "выполнено" и итогом.
- **Шаг 4.4: Завершение.** Если после повторной обработки качество достигнуто, процесс завершается. В противном случае (очень редкий случай) возможна еще одна итерация или решение отправить материал как неперерабатываемый.

Процесс 5: Учет и вывод продукции. После успешной сортировки партия вторсырья переходит на склад или к отгрузке:

- **Шаг 5.1: Прессование и упаковка.** Отсортированные материалы прессуются (если применимо) и увязываются в тюки. Оператор пресса сканирует RFID-метку партии или вводит код вручную перед прессованием, чтобы система знала, какой тюк относится к какой партии/материалу. На каждый готовый тюк может быть наклеен штрихкод или RFID.
- **Шаг 5.2: Регистрация выхода.** Система создает запись о выпуске продукции: например, таблица отгрузок или обновление статуса партии на "готово". Прописывается, сколько тюков или объем материала получено.
- **Шаг 5.3: Хранение на складе.** Готовые материалы складироваться по видам. Складские работники отмечают в системе расположение, если требуется (но зачастую для небольшого завода это не детализируется, а просто учитывается факт наличия).
- **Шаг 5.4: Отгрузка потребителю.** Когда приходит запрос, материалы отгружаются. В системе формирования отчетов можно получить, сколько и каких материалов готово к продаже.

Процесс 6: Мониторинг состояния оборудования и ТО. Этот процесс фоновый, он постоянно идет параллельно основным производственным шагам.

- **Шаг 6.1: Автоматический сбор телеметрии.** Контроллеры и датчики непрерывно шлют данные о состоянии техники. Сервер формирует записи "ЛогОборудования" в базе: каждые N минут – значения температур, вибрации, энергопотребления и пр. При внештатных ситуациях мгновенно фиксируется событие (тревога).
- **Шаг 6.2: Анализ и оповещение.** SCADA-система анализирует поступающие данные на предмет отклонений от нормы. Если температура двигателя превышает порог – генерируется тревога. Оповещения отображаются оператору (сигнал на HMI), отправляются

инженеру maintenance (например, push-уведомление или SMS) при серьезных инцидентах.

- **Шаг 6.3: Реакция инженеров.** Инженер по обслуживанию планово просматривает логи, составляет график ТО. При тревоге – оперативно выезжает на линию. Он может через мобильный клиент посмотреть детали события (конкретный датчик, графики) прежде чем идти на место. После обслуживания инженер добавляет запись (или система сама при восстановлении): например, "заменен датчик", "очищен магнит".
- **Шаг 6.4: Профилактика.** Периодически (например, раз в неделю) менеджер производства и инженер обслуживания совещаются, используя данные логов: где были узкие места, сколько времени заняли остановки. Это позволяет улучшать процесс (например, принять решение добавить еще один конвейер для обхода проблемного узла, если часто простаивает).
- **Шаг 6.5: Обновление системы.** Этот же процесс включает обновление ПО. Системный администратор по плану и по необходимости обновляет SCADA, прошивки ПЛК, вносит коррективы в БД (например, добавляет новые поля для новых датчиков), поддерживая систему актуальной.

Таким образом, вся система работает как единый организм: данные, полученные на одном этапе (прием, сортировка, контроль, обслуживание), используются на других для принятия решений. BPMN-диаграммы каждого процесса могли бы показать потоки сообщений между ролями и системой (например, менеджер качества отправляет запрос инженеру на пересмотр настроек – в реальности это может быть просто устное общение, но фиксируемое как заметка в системе). Главное, что за счет автоматизации значительная часть процессов выполняется быстро и с минимальным вмешательством: люди занимаются контролем и улучшением, а рутинные задачи выполняет техника.

7. Интерфейс визуализации данных и система уведомлений

Для управления и анализа работы комплекса критически важна **удобная система визуализации и оповещений**. Она реализуется в виде нескольких уровней интерфейсов:

- **Операторский HMI-интерфейс:** Панели оператора расположены на центральном посту управления и/или рядом с ключевыми узлами линии. Эти интерфейсы обычно графические и отображают схему технологического процесса в реальном времени. Оператор видит на экране схематичное изображение конвейеров и машин, со световыми индикаторами состояния (работает/остановлен, авария). Рядом выводятся числовые показания: скорость ленты, ток двигателя,

температура, счетчики отобранных единиц (например, штук бутылок, если система считает). Когда все в норме, индикация зеленая; если возникает ошибка – соответствующий узел мигает красным, сопровождаясь звуковым сигналом. Операторский интерфейс позволяет также вручную управлять системой в пределах разрешенных действий: есть кнопки "Пуск/Стоп" конвейера, "Очистить тревогу", "Переключить режим" и т.п. Через HMI оператор может внести заметки (например, указать причину остановки вручную, если система не распознала). Этот интерфейс создается средствами SCADA/HMI, ориентирован на простоту и надежность – крупные шрифты, минимализм, чтобы в условиях цеха все четко читалось.

- **Административный дашборд (панель мониторинга):** Для менеджеров (произв., качества) и руководства предназначена более обобщенная панель, обычно доступная через корпоративную сеть (в офисе или по защищенному удаленному доступу). **Дашборд администратора** предоставляет сводные данные:
 - **Статистика по объёмам:** графики переработки – столбчатая диаграмма тонн переработанных отходов по дням/неделям, пириоговая диаграмма состава (доли пластика, бумаги, металлов и пр.) за выбранный период.
 - **Качество и эффективность:** индикаторы KPI – например, текущий процент извлечения вторсырья (материал recovery rate), средняя чистота продукции (% примесей), количество партий, прошедших без повторной сортировки. Эти индикаторы могут подсвечиваться цветом: зеленый – все в пределах целевых значений, желтый/красный – есть отклонения.
 - **Состояние оборудования:** интерактивная схема завода или список основного оборудования с состоянием. Например, "Конвейер-1: ОК", "Пресс: в работе, 60% нагрузки", "Оптический сортировщик: предупреждение – требуется чистка линз". Также счетчики моточасов – сколько часов отработал каждый механизм с последнего ТО. Если какой-то агрегат вышел из строя, на дашборде сразу видна тревога.
 - **Логи и события:** таблица последних событий – например, "10:45 – магнитный сепаратор остановлен, причина: перегрев", "10:50 – обслуживание возобновлено". Менеджер может фильтровать события (только аварии, только предупреждения, только по определенному узлу).
 - **Уведомления о сервисе:** если по графику пора проводить плановое техобслуживание, на панели всплывает уведомление (например, "Через 8 часов – ТО дробилки №2").
 - **Экспорт отчетов:** интерфейс позволяет сформировать отчет за период – по нажатию кнопки генерируется документ (PDF/Excel) с таблицами: сколько чего принято, выпущено, процент

переработки, время простоев, и т.п. Это нужно для внутреннего анализа и для отчетности перед регуляторами.

- **Система предупреждений и оповещений:** Для оперативного реагирования реализован механизм нотификации:
 - **Локальные сигналы:** сирены и сигнальные лампы на производственной линии, напрямую связанные с аварийными ситуациями (например, при останове конвейера срабатывает маячок). Это аппаратная часть.
 - **Сообщения в системе:** на всех соответствующих интерфейсах (HMI, дашборд) при нештатной ситуации всплывают уведомления. Важное свойство SCADA – **алармы (alarms)**: при срабатывании триггера запись заносится в список активных аварий. Оператор должен подтвердить, что он принял к сведению (квитировать alarm). Система логирует время обнаружения и время подтверждения/устранения.
 - **Удалённые уведомления:** для руководства и обслуживающего персонала могут настраиваться рассылки. Например, при критической аварии (поломка пресса) – мгновенная отправка SMS главному инженеру. Или ежедневный email-сводка менеджеру по качеству с перечнем партий и их параметрами.
 - **Web/мобильный доступ:** современные системы часто дополняются мобильным приложением или веб-доступом для просмотра дашборда и получения push-уведомлений. Это повышает скорость реакции – инженер может не находиться в диспетчерской, но получит сигнал на смартфон.
- **Интерактивность и управление:** Через интерфейс визуализации пользователи могут не только смотреть данные, но и задавать управляющие воздействия на высоком уровне. Примеры: менеджер качества через дашборд может пометить партию как требующую пересмотра – это действие попадет в базу и отобразится оператору как задача. Начальник производства может дистанционно остановить весь процесс (например, в чрезвычайной ситуации) – отправив соответствующую команду через защищенный доступ (при условии, что политика безопасности это допускает). Однако, обычно прямое управление ограничено уровнем операторов на месте, а дашборд больше для мониторинга и анализа.
- **Пример визуального компонента:** Графический вид дашборда может содержать, скажем, **спидометр-виджет** для показателя "Процент переработки" – стрелка показывает, какая доля входящего сырья реально превращается во вторсырье (например, 65% от всего объема, остальное – потери/отходы). Далее, таблица "Сегодня переработано:" с разбивкой по категориям: пластик – X кг, металл – Y кг, и т.д. График тренда – линия, показывающая изменение % переработки за последние 24 часа или по сменам. Все это помогает быстро оценить ситуацию.

- **Юзабилити и дизайн:** Интерфейс выполнен на русском языке, с понятными названиями секций. Цветовая индикация стандартная: зеленый – норма, желтый – предупреждение, красный – авария. Иконки оборудования интуитивно понятны (например, значок шестеренки для механического узла, значок термометра для температуры). Важно, что интерфейс не перегружен излишними деталями – пользователь видит самое главное, с возможностью провалиться в подробности при необходимости (drill-down). Например, менеджер видит общий KPI, а кликнув по нему – получает подробный отчет из базы, какие партии повлияли на этот KPI.
- **Безопасность и разграничение:** Система визуализации требует входа под своим именем. Оператор на панели может видеть и делать то, что положено оператору, но не сможет изменить настройки, доступные только инженеру. Администратор имеет доступ ко всем настройкам, включая конфигурацию самих дашбордов. Это предотвращает несанкционированные действия и случайные ошибки пользователей.

Система уведомлений в действии – пример: допустим, на конвейере происходит останов (лента сошла). Датчик фиксирует резкую остановку барабана, контроллер за доли секунды отключает двигатель и генерирует аварийный сигнал. SCADA регистрирует событие "Останов конвейера 1 – авария" в журнале и показывает на экране оператора всплывающее окно. Одновременно сирена на линии подает звуковой сигнал. Оператор видит сообщение, бежит к конвейеру, устраняет механическую проблему. Затем на панели нажимает "Сброс аварии". Система фиксирует время восстановления. Инженер обслуживающий получив SMS о происшествии, может чуть позже зайти и просмотреть в логе детали – сколько длился простой, и внести эту информацию в отчет по эффективности оборудования. Таким образом, интерфейс и уведомления являются критической связкой между физическим процессом и людьми, позволяя быстро реагировать и поддерживать высокую производительность.

8. Заключение

В данном отчёте рассмотрен проект автоматизированной системы для завода по переработке вторичного сырья. Проведенный анализ показывает, что реализация подобного решения **технически осуществима и экономически оправдана** при современных технологиях. Интеграция конвейерного оборудования с интеллектуальными системами сортировки (сенсорами, машинным зрением, роботами) и единым программным управлением позволяет перерабатывать значительно большую долю отходов по сравнению с традиционными методами. Автоматизация процессов на мусоросортировочных комплексах обеспечивает извлечение до 50–60% и более полезных материалов из потока ТБО (в зависимости от состава отходов), тогда как ручная сортировка обычно не превышает 5–10%. Это

ведет к существенному снижению объемов захораниваемого мусора и, как следствие, уменьшает нагрузку на полигоны и окружающую среду.

Преимущества решения: Во-первых, повышается **производительность** – завод может работать в режиме 24/7 с минимальным участием человека, обработка идет непрерывно, что увеличивает пропускную способность. Во-вторых, улучшается **качество вторсырья** – благодаря точным сенсорам и алгоритмам управление, удается достигать высокой чистоты отсортированных фракций, что повышает их ценность для дальнейшего использования. В-третьих, **сокращаются издержки**: хотя капитальные вложения в автоматизацию значительны, снижение затрат на ручной труд и рост выхода коммерческого вторсырья ведут к окупаемости. Кроме того, меньше простоя из-за оптимального обслуживания по данным мониторинга. В-четвертых, улучшаются **условия труда и безопасность** – работники меньше контактируют напрямую с отходами (особенно опасными и загрязненными), тяжёлый и монотонный труд замещается контролем за .Это снижает травматизм и профессиональные заболевания. Наконец, система сбора данных и отчетности позволяет **гибко управлять** производством: выявлять узкие места, быстро реагировать на отклонения, обоснованно планировать модернизацию и расширение.

Реализуемость: Все перечисленные компоненты – от сенсоров до программного обеспечения – доступны на рынке и имеют успешные примеры внедрения на современных мусороперерабатывающих предприятиях. Ключевыми факторами успеха проекта будут: правильный подбор оборудования под конкретный состав отходов, профессиональная интеграция систем управления, а также обучение персонала работе с новой технологией. Проектирование такой системы требует сотрудничества междисциплинарной команды (технологов по отходам, инженеров АСУ, IT-специалистов, механиков). Но результатом станет **современный высокотехнологичный завод**, способный внести значительный вклад в экономику замкнутого цикла и экологическую безопасность. Автоматизированная переработка вторсырья демонстрирует, как цифровизация и механизация могут преобразить традиционную отрасль, сделав её более эффективной, прозрачной и устойчивой к вызовам будущего.

Таким образом, предложенное решение сочетает **передовые технические средства и продуманную организацию процессов**, обеспечивая достижение поставленных целей по переработке отходов. Реализация системы позволит заводу работать стабильно и результативно, превращая значительную долю отходов в полезные вторичные ресурсы и минимизируя негативное воздействие на окружающую среду.

