

УДК 004

## РЕАЛИЗАЦИЯ АППАРАТНОЙ ЧАСТИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ПО ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

*А. И. БУТЬКО, М. В. ИЗОИТКО, В. А. МАЛЫШКИН  
(Представлено: И. С. РУСЕЦКИЙ)*

*Основой аппаратной части комплекса служит макет, который представляет собой уменьшенную копию нефтеперерабатывающего предприятия. Ядром программно-аппаратной части служит микроконтроллер Arduino Nano, к которому подключаются исполнительные устройства: светодиоды для освещения и имитации огня, проигрыватель аудиофайлов, Bluetooth-модуль. Выбранная аппаратная начинка позволяет продемонстрировать симуляции аварийных ситуаций или сценарии, требующие визуализации происходящего на объекте.*

**Введение.** Программно-аппаратный комплекс по промышленной безопасности с применением технологий дополненной реальности включает в себя аппаратную часть и комплекс программ. Аппаратная часть представляет собой макет нефтеперерабатывающего предприятия и аппаратное обеспечение макета. Программная начинка аппаратной части обеспечивает глубокую иммерсивность интерактивного изучения предметной области за счет встроенного пакета аудиовизуальных спецэффектов, работающих в одном из одиннадцати возможных режимов.

**Реализация аппаратной части.** Основой аппаратной части комплекса служит макет, который представляет собой уменьшенную копию крупных технологических объектов нефтеперерабатывающего предприятия, их коммуникационной обвязки и вспомогательной инфраструктуры. С помощью аддитивных технологий воспроизведена модель технологического комплекса глубокой переработки нефти, содержащая пять основных установок: атмосферная трубчатка АТ-8, гидроочистка ГО-2, производство серы методом Клауса, гидрокрекинг «Юникрекинг», установка замедленного коксования.

Реализация аппаратного обеспечения и программного обеспечения аппаратной части состояла из следующих этапов.

### 1. Создание цифровых 3D-моделей технологических объектов.

Одним из ключевых аспектов программно-аппаратного комплекса по промышленной безопасности с применением технологий дополненной реальности является разработка цифровых 3D-моделей объектов нефтеперерабатывающего предприятия. Эти объекты включают крупные технологические установки, трубопроводы, резервуары для хранения, насосные станции и другие ключевые компоненты.

Для создания 3D-моделей использовалась система автоматизированного проектирования (САПР) SolidWorks [1]. Это программное обеспечение было выбрано из-за его высокой точности при работе с инженерными чертежами и возможности создания детализированных моделей с учётом всех пропорций и технических требований. В процессе моделирования учитывались реальные размеры и форма объектов на нефтеперерабатывающем предприятии, что позволило создать максимально реалистичные и точные копии.

### 2. Подготовка моделей для 3D-печати.

После завершения этапа проектирования 3D-модели были преобразованы в формат, совместимый с 3D-принтером. Для этого использовались форматы STL и OBJ, которые широко поддерживаются 3D-принтерами и обеспечивают сохранение геометрии объектов. Особое внимание было уделено качеству сетки моделей, так как слишком низкая детализация могла негативно сказаться на точности печати, а слишком высокая — усложнить процесс. После проверки моделей на наличие ошибок в топологии они были подготовлены для печати на принтере с технологией FDM (Fused Deposition Modeling).

### 3. Процесс 3D-печати.

3D-печать [2] производилась на принтере Creality Ender 3 с использованием пластика PLA. В зависимости от размера и сложности модели, печать могла занимать от 30 минут до 12 часов. Например, для печати резервуара для хранения диаметром 100 мм и высотой 200 мм потребовалось около 6 часов при разрешении 0.2 мм. Печать велась с параметрами, обеспечивающими оптимальное соотношение скорости и качества, с толщиной слоя 0.1 мм для более мелких деталей и 0.2 мм для крупных элементов.

### 4. Сборка и постобработка моделей.

После завершения печати все отдельные компоненты модели были тщательно проверены и обработаны. Для удаления лишних поддерживающих структур использовались инструменты для отделки пластика. Далее части собирались в одно целое с помощью клея, который обеспечивает прочное соединение пластиковых элементов. Важным этапом являлось точное совмещение всех деталей, чтобы избежать искривлений и отклонений в размерах.

После сборки модели подвергались постобработке. Для достижения гладкой поверхности применялась шлифовка с абразивной бумагой разной зернистости, начиная с зернистости 180 и заканчивая 600 для финальной обработки. Далее модели покрывались грунтовкой, которая подготовила поверхность для окрашивания. Окраска выполнялась аэрографом с использованием акриловых красок, что позволило достичь реалистичного внешнего вида моделей. Каждый слой краски наносился с промежуточной сушкой, что обеспечивало качественное покрытие и защиту модели.

#### 5. Установка на макет.

Собранные и окрашенные модели были установлены на макет предприятия, который представляет собой уменьшенную копию объекта с точным расположением технологических установок и инфраструктуры. Макет выполнен с использованием пластика для объектов. Вся компоновка объектов была выполнена с учётом реальных данных о расположении объектов на предприятии, что позволило создать точную и наглядную визуализацию.

#### 6. Разработка программного обеспечения для микроконтроллера Arduino Nano.

Программная часть была реализована на микроконтроллере Arduino Nano, который выступает в роли управляющего устройства. Разработка программы велась в среде Arduino IDE [3] на языке Arduino C, что обеспечило интеграцию с периферийными устройствами и быстрый отклик на команды. Программа включает несколько модулей для управления звуковыми и световыми эффектами.

а) Устройство обработки и вывода звука — это внешний модуль на базе микроконтроллера DFPlayer Mini, который считывает данные с microSD-карты и воспроизводит аудиофайлы формата MP3. Сигнал передаётся на внешний звуковой драйвер через встроенный усилитель.

б) Управление светодиодами. Микроконтроллер управляет двумя типами светодиодных лент:

– Неадресная лента (белый свет) включается и выключается с использованием MOSFET-транзисторов.

– Адресная лента (имитация огня) используется для создания сложных световых эффектов, таких как имитация пламени.

#### 7. Взаимодействие с мобильным приложением.

Для управления микроконтроллером используется Bluetooth-модуль HC-05, который принимает команды от мобильного приложения. Программа микроконтроллера постоянно ожидает команды и может выполнять следующие действия:

- Воспроизведение аудиофайлов формата MP3.
- Регулировка громкости.
- Остановка воспроизведения.
- Управление включением и выключением светодиодных лент.
- Подключение и отключение по Bluetooth [4].

Программа поддерживает параллельное выполнение нескольких задач благодаря минимальным задержкам (до 25 миллисекунд) между действиями, что обеспечивает плавность работы и возможность одновременного выполнения нескольких команд. Также в программу встроен механизм экстренной перезагрузки, если микроконтроллер зависает более чем на 5 секунд.

Программа включает в себя демонстрационный режим, который представляет собой комбинацию световых и звуковых эффектов. Интенсивность и последовательность включения эффектов варьируются, что позволяет продемонстрировать возможности системы в условиях симуляции аварийных ситуаций или сценариев, требующих визуализации происходящего на объекте.

**Заключение.** Разработан макет нефтеперерабатывающего предприятия и аппаратное обеспечение макета, которое управляется микроконтроллером Arduino Nano. Программное обеспечение микроконтроллера управляет исполнительными устройствами для создания необходимых световых и звуковых эффектов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Solidworks [Электронный ресурс].— Режим доступа: <https://www.solidworks.com>. — Дата доступа: 01.10.2024.
2. Технологии 3D-печати [Электронный ресурс].— Режим доступа: [https://3dtoday.ru/wiki/3D\\_print\\_technology](https://3dtoday.ru/wiki/3D_print_technology). — Дата доступа: 01.10.2024.
3. Arduino IDE [Электронный ресурс].— Режим доступа: <https://www.arduino.cc/en/software>.— Дата доступа: 01.10.2024.
4. Технология Bluetooth [Электронный ресурс].— Режим доступа: <https://www.bluetooth.com/>. — Дата доступа: 01.10.2024.