

К.М. Маханов<sup>1</sup>, Л.В. Чиркова<sup>1</sup>, Б.А. Касымбаева<sup>2</sup>, М.С. Бейсенбекова<sup>2</sup>, Н.К. Эсет<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казахдинский государственный университет им. Е.А. Букетова, Казахстан;

<sup>2</sup>АО «НИИ ХБН», Караганда, Казахстан

(E-mail: makanov@inbox.ru)

## Междисциплинарная связь физики, схемотехники и программирования

В статье представлены результаты разработки электронного устройства на основе цифровых компонентов, проведенной совместно с учащимися школ и студентами. Целью данной работы являлись проектирование и разработка электронного устройства на основе 32-битных микроконтроллеров серии STM32. Для проектирования и разработки электронной части устройства была использована интегрированная среда разработки Altium Designer. С применением языка высокого уровня C++ разработана управляющая программа в отладочной среде Keil v.5. В качестве центрального управляющего процессора использован микроконтроллер серии STM32F030K6T6. Разработаны электрическая схема и печатная плата прибора. В качестве сенсорного элемента использован высокочувствительный датчик газа TGS 2610 производства фирмы «Figaro» (Япония). Для передачи SMS применен модуль SIM800A. В процессе выполнения работы учащиеся самостоятельно изготовили электрические платы с использованием метода облучения ультрафиолетовой лампой специального фоторезиста. Практически все компоненты были расставлены и распаяны школьниками самостоятельно. Совместно со студентами была разработана управляющая программа для микроконтроллера. Для изготовления корпуса устройства была задействована среда «КОМПАС». Распечатка корпуса осуществлялась на 3D-принтере. Проведены калибровка прибора и ее тестовые испытания. По результатам предварительных тестовых испытаний устройства установлено, что датчик газа реагирует на наличие газа в течение первых 20 с от времени начала утечки. Ложных срабатываний устройства не зафиксировано. Показано значение основ физики, информатики и математики в процессе проектирования цифровых устройств и приборов.

*Ключевые слова:* датчик газа, дополнительное образование, микроконтроллер STM32, программирование, прибор, электрическая схема, печатная плата, модуль передатчика.

### Введение

При обучении школьников и учащихся основам разработки современных электронных и робототехнических устройств важно дать знания по таким направлениям, как радиоэлектроника, механика, и программирование. Знакомство с данными направлениями в рамках общеобразовательных дисциплин, таких как физика, математика и информатика, учащиеся начинают с 6–7 классов. Однако следует отметить, что, как бы хорошо не были усвоены знания, умения и навыки по данным дисциплинам, они не позволят учащимся самостоятельно и в полной мере создавать цифровые электронные устройства, роботов, писать полноценные управляющие программы.

Для того, чтобы уметь создавать цифровые электронные и робототехнические устройства и писать программы, учащимся необходимы дополнительные, углубленные междисциплинарные знания по таким направлениям, как программируемая микроэлектроника [1], робототехническая технология [2] и т.д. Процесс обучения должен быть организован соответствующим образом. В первую очередь, учащиеся должны быть заинтересованы и увлечены идеей проектирования и разработки собственных устройств. Во-вторых, у них должно быть достаточно свободного времени для дополнительных занятий по электронике и программированию. Немаловажную роль играет наличие соответствующего оборудования и программного обеспечения.

В процессе обучения ученики должны научиться определять функциональные задачи и технические характеристики как электронных, так и механических компонентов. Овладеть навыками разработки электронных схем и печатных плат. Научиться разрабатывать алгоритмы и псевдокоды, для последующего воплощения в реальную программу. Уметь самостоятельно разрабатывать и писать программные блоки на одном из языков высокого уровня.

Как видим, разработка самодельных цифровых и робототехнических устройств требует более углубленных знаний и практических навыков по таким дисциплинам, как физика, математика, информатика.

Теоретические знания из курса физики и математики необходимы при расчетах электронных узлов и блоков разрабатываемого устройства. При расчете электронных компонентов проявляются навыки практического применения физических законов и математики.

Таким образом, можно отметить, что освоение основ микроэлектроники и программирования требует от учеников, наряду с изучением физики, математики и информатики, рассмотрения взаимосвязей между этими дисциплинами.

В основе всех современных разработок лежит микроэлектронная технология, представленная программируемыми микроконтроллерами, или в более сложных устройствах — микропроцессорами. В школьной образовательной программе в основном используют различные готовые конструкторы Lego [3; 5] и отладочные платформы Arduino [4].

Наш опыт работы со школьниками позволяет утверждать, что обучение на основе отдельных микроконтроллеров более эффективно по сравнению с обучением при помощи конструкторов в области информатики и электроники. На протяжении двух лет авторами данной статьи ведется работа с учениками старших классов по разработке электронных устройств на основе микроконтроллеров STM32.

Целью данной работы являются проектирование и разработка электронных устройств на основе программируемой микроконтроллерной техники. Для достижения поставленной цели были рассмотрены и решены следующие задачи:

- ведение дополнительных занятий с учениками по углубленному изучению основ полупроводниковой микроэлектроники;
- ведение дополнительных занятий по углубленному изучению языка программирования C++;
- ведение дополнительных занятий по изучению микроконтроллерной техники;
- проектирование и разработка как минимум одного электронного устройства, основанного на цифровом интерфейсе.

В дополнительном обучении принимали участие школьники 10–11 классов. Предварительно ученики были поделены на группы по два человека. Каждая пара выбрала себе направление, в рамках которого планировалось ведение разработок.

#### Результаты и их обсуждение

В статье представлены результаты проектирования и разработки электронного устройства, предназначенного для обнаружения утечки бытового газа.

На рисунке 1 изображена структурная схема разработанного прибора. Прибор состоит из датчика газа; управляющего микроконтроллера STM32F030K6T6 [5; 26]; GSM/GPS-модуля SIM800A (передатчика); светового и звукового индикаторов; микросхемы контроля заряда и *Li-Pol* аккумуляторной батарейки.

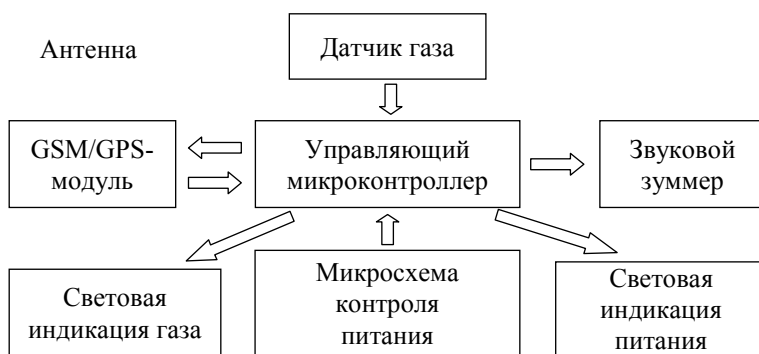


Рисунок 1. Структурная схема прибора

Прибор с датчиком газа, управляющим микроконтроллером и GSM/GPS-модулем составляет единую конструкцию прибора для контроля утечки газа.

Датчик газа, управляющий микроконтроллер и GSM/GPS-модуль для SMS-сигналов располагаются на одной общей плате. При изменении состояния датчика газа (наличие газа в окружающей среде) сигнал передается в управляющий микроконтроллер. В свою очередь, управляющий микроконтроллер на программном уровне анализирует уровень сигнала на входах. При «обнаружении» сенсором наличия газа на внешнем корпусе устройства загорается световой индикатор (светодиод) и включается звуковой

индикатор. По мере повышения концентрации газа частота звука возрастает, до момента превышения заданного порогового значения концентрации газа в помещении. При превышении порогового значения газа, которое задается на программном уровне, выполняется код программы, осуществляющий посылку управляющего сигнала на SIM-карту GSM/GPS-модуля. В свою очередь, GSM/GPS-модуль формирует и отправляет SMS-сообщение с заданным текстом. Сообщение одновременно может быть отправлено на несколько телефонных номеров. Перечень номеров предварительно «записывается» непосредственно в программу управления микроконтроллером.

Управляющая программа для микроконтроллера разработана на языке C++, с использованием среды разработки Keil v.5. Алгоритм работы программы и, в целом, устройства реализуется в следующем порядке:

- управляющий микроконтроллер с частотой не менее одного раза в 0,5 с. «опрашивает» состояние двух входов, один из которых связан с датчиком газа, второй — с микросхемой контроля заряда аккумуляторной батареи;

- при изменении состояния входа, связанного с датчиком газа, микроконтроллер активирует код программы, который отвечает за посылку сигнала на GSM/GPS-модуль;

- при изменении состояния входа, связанного с микросхемой контроля аккумуляторной зарядки, управляющий микроконтроллер активирует код программы, который также формирует посылку сигнала на GSM-модуль.

Ниже представлена часть программы, в которой отражены основные управляющие команды для включения, запуска и активации GSM-модуля, реализованного с применением структуры *While* и вложенной структуры выбора *if/else*.

```
void SendSMS (char* text)
{
uart.WriteString («AT+CMGS=\»+77009667591\»\r»);
int ch = uart.ReadByte ();
    while((ch!= '>') && (ch!= -1))
ch = uart.ReadByte ();
    if(ch == '>')

void MainTask ()
{ char str [100];
Enable ();
uart.WriteString («AT\r»);
ReadSrting (str,100);
uart.WriteString («ATE0\r»);
ReadSrting (str,100);
uart.WriteString («AT+CMGF=1\r»);
ReadSrting (str,100);
uart.WriteString («AT+CSCS=\»GSM\»\r»);
ReadSrting (str,100);
HAL_ADCEx_Calibration_Start (&hadc);
    while (! strstr(str,»+CREG: 0,1»))
SendSMS («POWER ON»);
ReadSrting (str,100);
    { if (! sms_sended)
{ SendSMS («GAS!»);
ReadSrting (str,100);
sms_sended = true; }
}
    else
    { if (sms_sended)
{
SendSMS («NO GAS OK»);
ReadSrting (str,100);
sms_sended = false;
}
```

При включении прибора автоматически осуществляются первичная активация SIM-карты, подключение модуля к системе GPS и обмен данными между микроконтроллером и модулем передатчика.

Электрическая схема и плата устройства спроектированы в среде Altium Designer. На рисунке 2 представлены схемы подключения микроконтроллера к внешней периферии (а) и печатной платы (б).

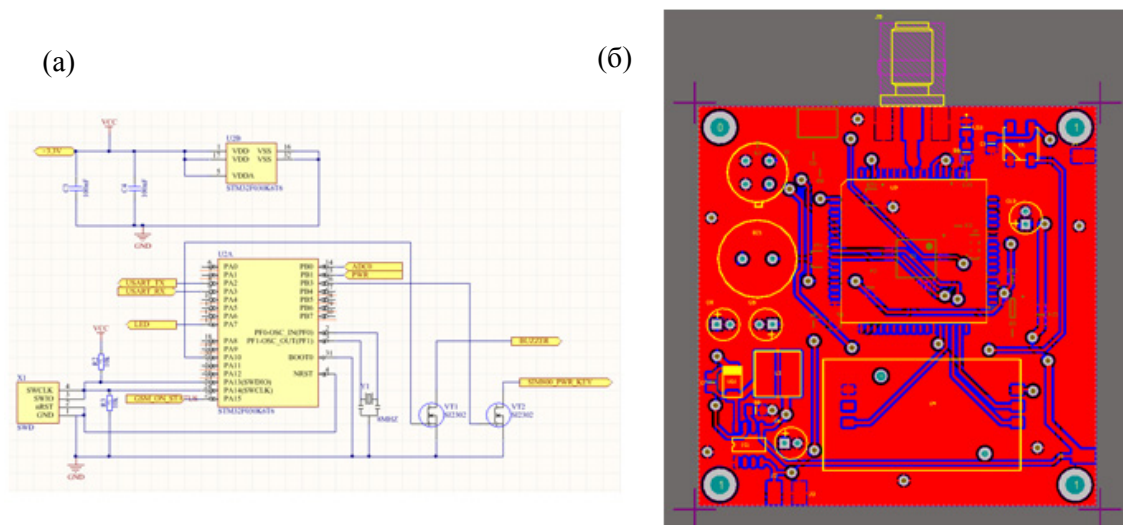


Рисунок 2. Схемы подключения микроконтроллера к внешней периферии (а) и печатной платы (б)

Использованный нами STM32F030K6T6 32-битный микроконтроллер относится к первой линейке микроконтроллеров STM32. Выбор наиболее упрощенной версии микроконтроллера обусловлен простотой его изучения и программирования учащимися.

В качестве сенсора газа использован продукт фирмы FIGARO ENGINEERING, это полупроводниковый датчик на основе пленок оксида олова, сопротивление которых в чистом воздухе очень высоко [6].

Изготовление платы осуществлялось путем облучения ультрафиолетовой лампой специального фоторезиста через фотонегатив схемы, распечатанный на лазерном принтере. Травление платы происходило в растворе перекиси водорода и лимонной кислоты.

После изготовления печатной платы, лужения и очистки поверхности была проведена работа по распаке компонентов. Данная работа была выполнена совместно со школьниками. Все компоненты, за исключением микроконтроллера и модуля передатчика, были расставлены и распаяны школьниками самостоятельно. Для пайки использовали маломощную паяльную станцию, оснащенную функцией термовоздушной обдувки. Корпус для прибора был разработан в среде «КОМПАС» и распечатан на 3D-принтере.

Тестовые испытания прибора на количество отказов по срабатыванию и ложных срабатываний показали положительные результаты. Тестирование на количество отказов проводилось следующим образом: на расстоянии двух метров от датчика, в течение двух секунд распыляли с маленького баллончика газ (пропан). Затем для ускорения распространения паров газа в окружающей среде включали вентилятор.

Во всех случаях срабатывали световая и звуковая индикации устройства. Параллельно на выбранный телефонный номер приходили сообщения «*GAS!*». Тестовые испытания проводились в течение 2–3 дней, так как после каждого распыления газа требовалось на 1–2 ч проветривать помещение. В отсутствии газа на тот же телефонный номер приходили сообщения об отсутствии газа «*NO GAS OK*».

На рисунке 3 представлено созданное совместно с учащимися устройство.



Рисунок 3. Внешний вид разработанного устройства

Ложных срабатываний прибора не зафиксировано. При проведении данных испытаний «опасения» были связаны не с самим датчиком, а с разработанной программой. Следовало убедиться в том, что в самой программе нет ошибок, которые приводили бы к ложной активации прибора и посылкам сообщений.

#### *Заключение*

В ходе выполнения работы была разработана схема устройства, предназначенного для обнаружения паров бытового газа в окружающей среде. В качестве основного сенсорного элемента использован высокочувствительный датчик TGS-2610. Осуществлено проектирование печатной платы устройства с трассировкой проводников и разводкой электронных компонентов. Для проектирования схемы платы устройства были задействованы возможности среды Altium Designer. Для разработки управляющей программы был использован язык высокого уровня C++. Обмен передаваемых команд между микроконтроллером и модулем SIM800A осуществлялся посредством AT-команд.

В качестве конечного продукта нами был собран прототип устройства, оснащенный сенсором газа, управляющим микроконтроллером, модулем передачи данных, звуковым индикатором и аккумуляторной батареей. Функциональные возможности устройства проверены в ходе предварительных тестовых испытаний. Тестовые испытания устройства показали положительные результаты: во всех случаях включалась звуковая сигнализация, и устройство осуществляло посылку SMS-сообщения. При этом случаев ложного срабатывания устройства не было зафиксировано.

Также следует отметить, что учащиеся, выполняя поставленные задачи, получили более глубокие знания в области цифровой техники и программирования микроконтроллеров.

#### Список литературы

- 1 Жукова Е.А. Hi-Tech и Hi-Hume: новые требования к подготовке профессионала / Е.А. Жукова // Вестн. Том. гос. пед. ун-та. — 2005. — Вып. 5, № 49. — С. 70–72.
- 2 Борисова Т.С. Формирование инновационного поведения молодежи институтами социального воспитания / Т.С. Борисова, С.Б. Куликов // Вестн. Том. гос. пед. ун-та. — 2012. — Вып. 8, № 123. — С. 47–50.
- 3 Никитина Т.В. Образовательная робототехника как направление инженерно-технического творчества школьников: учеб. пос. / Т.В. Никитина. — Челябинск: Изд-во Челяб. гос. пед. ун-та, 2014. — 169 с.
- 4 Гайсина И.Р. Развитие робототехники в школе / Педагогическое мастерство (II): материалы Междунар. заоч. науч. конф. (декабрь 2012 года). — М.: Буки-Веди, 2012. — С. 105–107.
- 5 Торгаев С.Н. Практическое руководство по программированию STM-микроконтроллеров: учеб. пос. / С.Н. Торгаев, М.В. Тригуб, И.С. Мусоров. — Томск: ТПУ, 2015. — 111 с.
- 6 Игнатъева Н. Датчики газа фирмы «Figago» / Н. Игнатъева // Электроника. Наука. Техника. Бизнес. — 2005. — № 2. — С. 34–37.

К.М. Маханов, Л.В. Чиркова, Б.А. Касымбаева, М.С. Бейсенбекова, Н.К. Әсет  
**Физика, сұлбатехника және программалаудың пәнаралық байланысы**

Мақалада мектеп оқушылары және студенттермен бірлесіп жүзеге асырылған цифрлық компоненттерге негізделген электрондық құрылғыны жасау нәтижелері келтірілген. Бұл жұмыстың мақсаты STM32 сериялы 32-биттік микроконтроллер негізінде электрондық құрылғыны жобалау және жасау болып табылады. Құрылғының электрондық бөлігін жобалау және әзірлеу үшін Altium Designer интеграцияланған әзірлеу ортасы қолданылған. Keil v.5 әзірлеу ортасында, жоғары деңгейлі C ++ тілін қолдану арқылы басқару бағдарламасы жасалған. Орталық басқару процессоры ретінде STM32F030K6T6 сериялы микроконтроллер пайдаланылған. Электр тізбегі және құрылғының электрлік тақтасы әзірленген. Сенсорлы элемент ретінде Figaro (Жапония) фирмасында өндірілген сезімталдығы өте жоғары TGS 2610 газ датчигі қолданылған. SMS жіберу үшін SIM800A модулі пайдаланылған. Жұмысты орындау барысында студенттер ультракүлгін сәулемен арнайы фоторезистті сәулелендіру әдісін қолдана отырып, электрлік тақталарды өз бетінше жасаған. Іс жүзінде барлық компоненттерді оқушылар өздері реттеп, дәнекерлеген. Микроконтроллерді басқару бағдарламасы студенттермен бірге әзірленген. Құрылғының корпусын жасау үшін «КОМПИАС» ортасы қолданылған. Корпустың өзі 3D-принтерде басылып шығарылған. Құрылғының жұмыстық дәлдігі реттеліп оның сынақ тестілері жүргізілген. Құрылғыны алдын-ала сынау нәтижелері бойынша, газ датчигі ағып кету басталған сәттен бастап алғашқы 20 секунд ішінде газдың болуын сезіп, сәйкесінше хабарлама жіберетіні анықталған және өз еркімен қосылып хабарламаны жіберуі байқалмады. Сандық құрылғылар мен аспаптарды жобалау процесінде физика, информатика және математика негіздерінің маңыздылығы көрсетілген.

*Кілт сөздер:* газ датчигі, қосымша білім беру, STM32 микроконтроллері, бағдарламалау, аспап, электр сұлбасы, баспа тақтасы, таратқыш модулі.

К.М. Makhanov, L.V. Chirkova, B.A. Kassymbayeva, M.S. Beissenbekova, N.K. Aset  
**Interdisciplinary communication of physics, schemes and programming**

The article presents the results of the development of an electronic device based on digital components, carried out jointly with schoolchildren and students. The aim of this work was the design and development of an electronic device based on 32-bit microcontrollers of the STM32 series. For the design and development of the electronic part of the device, the integrated development environment Altium Designer was used. Using a high-level C ++ language, a control program was developed in the Keil v.5 debugging environment. The microcontroller of the STM32F030K6T6 series was used as the central control processor. The electrical circuit and the circuit board of the device are developed. A highly sensitive gas sensor TGS 2610, manufactured by Figaro (Japan), was used as a sensor element. For SMS transmission, the SIM800A module was used. In the process of doing the work, students independently made electric boards using the method of irradiation of a special photoresist with a UV lamp. Practically all the components were arranged and soldered by the students on their own. Together with the students, a control program for the microcontroller was developed. To manufacture the case of the device, the «KOMPAS» environment was used. The case was printed on a 3D — printer. Calibrated the device and its test tests. According to the results of preliminary test tests of the device, it was found that the gas sensor responds to the presence of gas during the first 20 seconds from the time the leak started. False positives of the device are not fixed. The importance of the foundations of physics, computer science and mathematics in the process of designing digital devices and instruments is shown.

*Keywords:* gas sensor, additional education, STM32 microcontroller, programming, device, electrical circuit, printed circuit board, transmitter module.

### References

- 1 Zhukova, E.A. (2005). Hi-Tech i Hi-Hume: novye trebovaniia k podgotovke professionala [New professional training requirements]. *Vestnik Tomskoho gosudarstvennogo pedahohicheskoho universiteta — Bulletin of Tomsk State Pedagogical University*, V 5, 49, 70–72 [in Russian].
- 2 Borisova, T.S., & Kulikov, S.B. (2012). Formirovanie innovatsionnogo povedeniia molodezhi institutami sotsialnogo vospitaniia [Formation of innovative behavior of youth by institutions of social education]. *Vestnik Tomskoho gosudarstvennogo pedahohicheskoho universiteta — Bulletin of Tomsk State Pedagogical University*, V 8, 123, 47–50 [in Russian].
- 3 Nikitina, T.V. (2014). *Obrazovatelnaia robototekhnika kak napravlenie inzhenerno-tekhnicheskoho tvorchestva shkolnikov [Educational robotics as a direction of engineering and technical creativity of schoolchildren]*. Chelyabinsk: Izdatelstvo Cheliabinskoho gosudarstvennogo pedahohicheskoho universiteta [in Russian].

- 
- 4 Gaisina, I.R. (2012). Razvitie robototekhniki v shkole [Robotics development at school]. Pedagogicheskoe masterstvo (II): *Mezhdunarodnaia zaochnaia nauchnaia konferentsiia (dekab 2012 hoda) — International Correspondence Scientific Conference*. (p. 105–107). Moscow: Buki Vedi [in Russian].
  - 5 Torgaev, S.N., Trigub, M.V., & Musorov, I.S. (2015). *Prakticheskoe rukovodstvo po prohamirovaniu STM-mikrokontrollerov [Practical Guide to Programming STM Microcontrollers]*. Tomsk: TPU [in Russian].
  - 6 Ignateva, N. (2005). Datchiki haza firmy «Fiharo» [Figaro gas sensors]. *Elektronika. Nauka. Tekhnika. Biznes — Electronics. The science. Equipment. Business*, 2, 34–37 [in Russian].