

УДК 664  
ББК 36.81  
М-59

**Мартиросян Владимир Викторович**, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии пищевых производств Пятигорского государственного технологического университета, e-mail: [nauka.pgtu@mail.ru](mailto:nauka.pgtu@mail.ru);

**Щеглов Николай Григорьевич**, кандидат технических наук, профессор кафедры технологии пищевых производств Пятигорского государственного технологического университета, e-mail: [nauka.pgtu@mail.ru](mailto:nauka.pgtu@mail.ru);

**Санкин Александр Викторович**, кандидат технических наук, профессор кафедры техно-логии пищевых производств Пятигорского государственного технологического университета, e-mail: [nauka.pgtu@mail.ru](mailto:nauka.pgtu@mail.ru);

**Саленко Роман Николаевич**, аспирант кафедры технологии пищевых производств Пятигорского государственного технологического университета, т.: 89614952097, e-mail: [nauka.pgtu@mail.ru](mailto:nauka.pgtu@mail.ru);

**Малкина Валентина Даниловна**, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Технологии хлебопекарного, макаронного и кондитерского производств Московского государственного университета технологий и управления, т.: 84955730236.

#### МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ЛАБОРАТОРНОГО ЭКСТРУДЕРА (рецензирована)

*В статье приводится описание программного обеспечения разработанного микропроцессорного информационно-измерительного комплекса лабораторного экструдера. Созданное программное обеспечение позволяет визуализировать изменяющиеся параметры в реальном времени в процессе работы лабораторного экструдера.*

**Martirosyan Vladimir Victorovich**, Candidate of Technical Sciences, assistant professor of Technology of Food Production Department, Pyatigorsk State Technological University, e-mail: [nauka.pgtu@mail.ru](mailto:nauka.pgtu@mail.ru);

**Tsheglov Nikolai Grigorievich**, Candidate of Technical Sciences, assistant professor of Technology of Food Production Department, Pyatigorsk State Technological University, e-mail: [nauka.pgtu@mail.ru](mailto:nauka.pgtu@mail.ru);

**Sankin Alexander Victorovich**, Candidate of Technical Sciences, assistant professor of Technology of Food Production Department, Pyatigorsk State Technological University, e-mail: [nauka.pgtu@mail.ru](mailto:nauka.pgtu@mail.ru);

**Salenko Roman Nicholaevich**, post graduate student of Technology of Food Production Department, Pyatigorsk State Technological University, tel.: 89614952097 e-mail: [nauka.pgtu@mail.ru](mailto:nauka.pgtu@mail.ru);

**Malkina Valentina Danilovna**, Doctor of Technical Sciences, Professor, professor of the Department of Technology of Bread, Macaroni and Confectionery Production, Moscow State University of Technology and Management, tel.: 84955730236.

#### MICROPROCESSING CONTROL SYSTEM AND PARAMETERS CONTROL OF THE LABORATORY EXTRUDER

*The article describes the software of the developed microprocessing information-measuring complex of the laboratory extruder. The developed software allows to visualize the changing parameters in real time mode in the processing of laboratory extruder.*

Получение новых продуктов питания с помощью термопластической экструзии является перспективным направлением развития пищевых технологий. Экструзионная

обработка растительного и животного сырья – является одним из самых высокоэффективных процессов, совмещающих механическую обработку компонентов с термическим воздействием, что позволяет получать продукты питания с заданными свойствами.

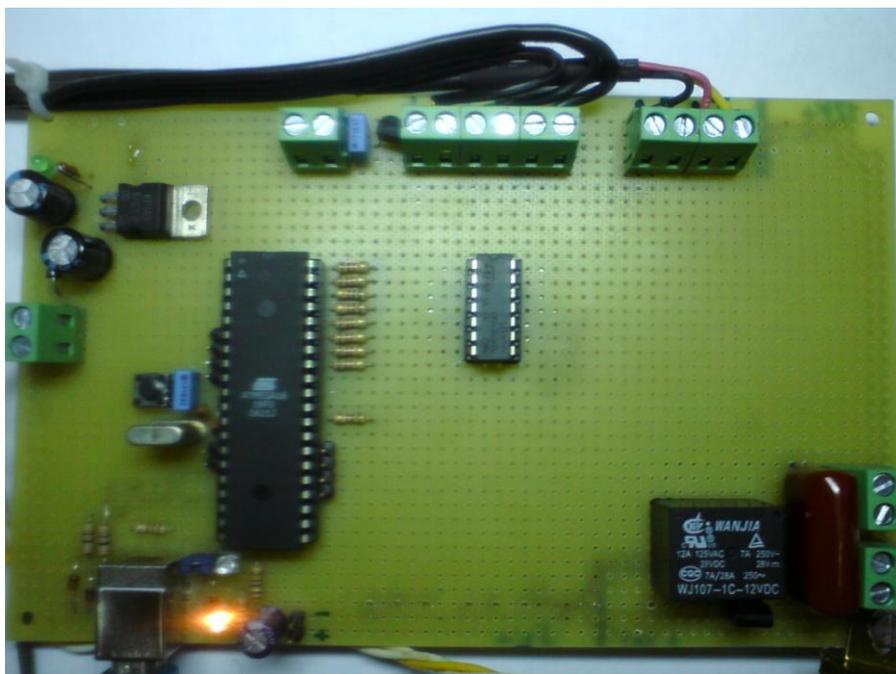
Необходимые условия получения экструзионных пищевых продуктов: равномерное увлажнение и пластификация сырьевых компонентов, расплав биополимеров при изменении конформации молекул белка и клейстеризации крахмала, структурирование расплава под действием механических усилий, его охлаждение и формование.

Экструзионный процесс характеризуется следующими положительными аспектами: низким удельным расходом энергии, небольшими капитальными затратами, компактностью, универсальностью, возможностью автоматизации [1].

Для получения экструзионных продуктов с высокими потребительскими свойствами, при экструзии необходимо строгое соблюдение ряда технологических условий. Эти условия относятся в первую очередь к сырью – его измельчению на частицы определенных размеров, их увлажнению, а также строгого поддержания определенной температуры и давления в процессе экструзии. После измельчения крупу разделяют на фракции, увлажняют и подвергают экструзионной обработке. Все параметры в процессе экструзии регистрируются датчиками, что позволяет выявить влияние размеров частиц крупы на качество продукта. Размер частиц крупы и скорость их подачи влияют на интенсивность их уплотнения в рабочей камере экструдера и достижения требуемого давления для взрыва на выходе из фильеры. Нагрев сырья из-за его уплотнения и скорость нарастания давления в процессе экструзии способствует переводу влаги, содержащейся в сырье, в перегретое состояние. Перегрев влаги зависит от превышения фактического давления в формующей части экструдера по сравнению с давлением насыщения влаги. Градиент давления по длине шнека является сложной функцией ряда эксплуатационных параметров: количества подаваемого сырья в единицу времени, степени увлажнения сырья, скорости вращения шнека, выбора диаметра формующего отверстия (фильеры), температуры формующего устройства.

Для обеспечения устойчивой работы экструдера с заданными параметрами собрана схема с использованием микроконтроллера и разработана компьютерная программа.

Схема собрана на макетной плате (рис. 1). В предложенной системе применен микроконтроллер ATmega16, работающий на частоте 16МГц. AVR-архитектура, на основе которой построены микроконтроллеры семейства ATmega, объединяет гарвардский RISC-процессор с отдельным доступом к памяти программ и данных, 32 регистра общего назначения, каждый из которых может работать как регистр-аккумулятор, и развитую систему команд фиксированной 16-бит длины. Большинство команд выполняются за один машинный такт с одновременным исполнением текущей и выборкой следующей команды, что обеспечивает производительность до 1 MIPS на каждый МГц тактовой частоты. 32 регистра общего назначения образуют регистровый файл быстрого доступа, где каждый регистр напрямую связан с АЛУ. За один такт из регистрового файла выбираются два операнда, выполняется операция, и результат возвращается в регистровый файл. АЛУ поддерживает арифметические и логические операции с регистрами, между регистром и константой или непосредственно с регистром.



*Рис. 1. Макетная плата контроллера*

Регистровый файл также доступен как часть памяти данных. 6 из 32-х регистров могут использоваться как три 16-разрядных регистра-указателя для косвенной адресации. Старшие микроконтроллеры семейства AVR имеют в составе АЛУ аппаратный умножитель. Базовый набор команд AVR содержит 120 инструкций. Инструкции битовых операций включают инструкции установки, очистки и тестирования битов. Все микроконтроллеры AVR имеют встроенную FLASH ROM с возможностью внутрисхемного программирования через последовательный 4-проводной интерфейс. Периферия МК AVR включает: таймеры-счётчики, широтно-импульсные модуляторы, поддержку внешних прерываний, аналоговые компараторы, 10-разрядный 8-канальный АЦП, параллельные порты (от 3 до 48 линий ввода и вывода), интерфейсы UART и SPI, сторожевой таймер и устройство сброса по включению питания.

Схема питается непосредственно от компьютера, напряжением 5В через шнур USB, что делает её универсальной и нетребовательной к аппаратному обеспечению ПК. Силовая часть схемы питается от сети 220В.

На шнеке экструдера в контрольных точках были установлены датчики, собирающие информацию о характере протекающих процессов. Предусмотрено подключение трех датчиков температуры. Диапазон входных напряжений микроконтроллера лежит от 0 до 2,5В, с шагом 0,01В. Разработанная система имеет подключение к промышленному преобразователю частоты для асинхронного двигателя, подключенному к экструдеру. От преобразователя микроконтроллер получает данные о выходной силе тока, напряжении и мощности потребляемой всей установкой.

Для контроля температуры выбраны платиновые датчики, имеющие линейную характеристику и работающие при температурах до 500<sup>0</sup>С. Датчики подключаются через согласующие каскады на операционных усилителях, собранные на основной макетной плате.

В работающем экструдере необходимо поддерживать определенную температуру, для этой цели на шнеке экструдера установлен нагреватель. Нагреватель подключается к микроконтроллеру, который в свою очередь производит мониторинг температуры и поддерживает ее на заданном уровне.

Прошивка для микроконтроллера написана на языке высокого уровня C, в среде разработки AVR Studio, и состоит из большого числа модулей, каждый из которых выполняет свою функцию. Интерфейс USB реализован программно, что также способствует упрощению аппаратной части и удешевлению всей системы в целом.

Программа для компьютера – «Экструдер», написана на языке высокого уровня C#, в среде разработки Visual Studio 2008. При написании программы использовались:

- Framework 2.0
- Библиотека для построения графиков ZedGraph
- Библиотека для работы с шиной USB LibUSB

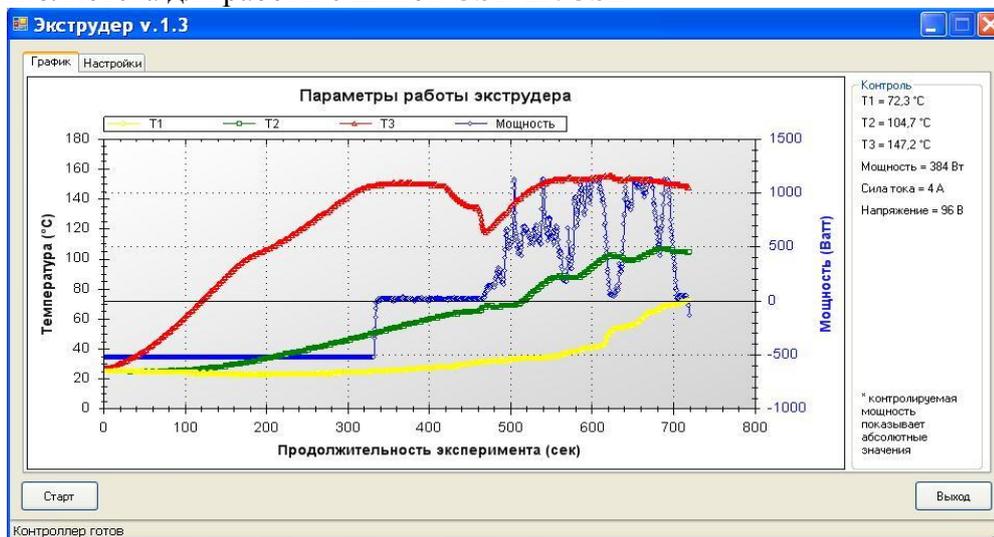


Рис. 2. Главный экран программы «Экструдер»

Алгоритм поддержания заданной температуры:

Программа на компьютере (хост):

1. Пересчитать заданную температуру в соответствующее ему значение аналого-цифрового преобразователя

2. Отправить данные в микроконтроллер

Функция пересчета температуры в значение АЦП, записанная на языке C#:

```
private byte TemperatureToAdc(double Temperature)
{
    double dV; // Разность напряжений на выходе измерительного моста
    double Rx; // Рассчитанное значение сопротивления термодатчика
    Rx = TR0 * (1 + TA * Temperature + TB * Temperature * Temperature);
    dV = (Rx / (Rx + R3) * Vref - (double)R1 / (R1 + R2) * Vref);
    return (byte)(dV * K * 100);
}
```

Микроконтроллер:

1. Получить данные от хоста

2. Сравнить текущее значение АЦП датчика температуры с принятым значением

Если значение АЦП меньше чем принятое значение минус константа, то включить нагреватель.

Если значение АЦП больше чем принятое значение плюс константа, то выключить нагреватель.

3. Перейти к пункту 1.

При этом константа выбирается такой, чтобы температура нагреваемой камеры могла иметь небольшой диапазон, при котором состояние нагревателя будет оставаться

неизменным. Функция поддержания заданной температуры может быть отключена, если в микроконтроллер передано значение температуры равное нулю.

На коде языка СИ функция, реализующая данный алгоритм, выглядит следующим образом:

```
if (param.temperRelay) {
    if (param.adc[T3] < (param.temperRelay - DELTA_TEMPER_RELAY))
        TEMPER_RELAY_ON;
    if (param.adc[T3] > (param.temperRelay + DELTA_TEMPER_RELAY))
        TEMPER_RELAY_OFF; }
else
    TEMPER_RELAY_OFF;
```

Для отображения температур в виде графиков, данные с датчиков оцифровываются микроконтроллером и передаются на компьютер, после чего принятые значения АЦП преобразуются в температуру. Функцию преобразования можно записать на языке С# следующим образом:

```
private double CalculateTemperature(byte t)
{
    double V3x; // Значение напряжения полученное с
    термодатчика
    double Rx; // Рассчитанное значение сопротивления
    термодатчика
    V3x = ((double)t/100 / K) + (double)R1 / (R1 + R2) * Vref;
    Rx = R3 / (Vref / V3x - 1);
    return Math.Round((-TA * TR0 + Math.Sqrt(Math.Pow(TR0*TA, 2) - 4
    * TR0 * TB * (TR0 - Rx))) / (2 * TR0 * TB), 1);
```

Практически все используемые программные компоненты уже предустановлены в новейших операционных системах, таких как Windows Vista и Windows 7, что значительно упрощает процесс установки программного обеспечения на компьютер.

Впоследствии разработанная система может быть расширена для подключения большего количества датчиков, а также может быть снабжена дополнительными выходами, для подключения к исполняющим устройствам, что позволит полностью автоматизировать процесс производства.

Разработанная система управления и контроля лабораторным экструдером позволяет определять возможность использования различных видов сырья для получения экструзионных продуктов, расширить ассортимент выпуска новых видов продуктов с заданными свойствами комбинируя сырьевые компоненты с учетом описанных параметров определяющих эффективность технологического процесса, выбирать режимы работы экструдера, позволяющие сохранить пищевые вещества с минимальными потерями сравнению с другими видами тепловой обработки.

#### **Литература:**

1. Экструзионная технология пищевых продуктов / Г.О. Магомедов [и др.] // Пищевая промышленность. 2003. №12. С. 10-14.

2. Lazou, A.E. Structural properties of corn-legume based extrudates as a function of processing conditions and raw material characteristics / A.E. Lazou, P.A. Michailidis, S. Thymi, M.K. Krokida, G.I. Bisharat // International Journal of Food Properties. 2007. №10. P. 721-738.

3. Hernandez-Izquierdo V.M. Thermal transitions and extrusion of glycerol-plasticized whey protein mixtures [Текст] / V.M. Hernandez-izquierdo, D.S. Reid, T.H. McHugh, J. De J. Berrios, J.M. Krochta // Journal Of Food Science. 2008. №4. P. 169-175.