

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СЫРЬЯ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ПРИМЕРЕ МАЛОГАБАРИТНОЙ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Статья посвящена актуальным вопросам обеспечения малых предприятий России гибкими системами автоматического управления процессами термической обработки сырья пищевой промышленности. Изучается применение современных информационных технологий на малогабаритной сушильной установке.

Ключевые слова: автоматизация, термическая обработка, управление и обработка информации, система управления, сушильная установка.

Введение

По данным Росстата, по состоянию на январь 2011 г., в пищевой промышленности Российской Федерации работало 43 064 организации с общей численностью персонала 1 млн 308 тысяч человек. Рентабельность производства составила 12,2 %. Каждое четвертое промышленное предприятие в России участвует в производстве пищевой продукции [1].

К основным процессам обработки сырья в пищевой промышленности относят термические процессы (сушка, вяление, копчение), которые по своей структуре трудоемки и сложны. В настоящее время наблюдаются тенденции к расширению видового состава сырья и, как следствие, к расширению ассортимента готовой продукции. Увеличиваются и совершенствуются рецептуры приготовления той или иной продукции. Вместе с тем на предприятиях до сих пор используется оборудование, разработанное отечественной промышленностью десятилетия назад и отличающееся своим повышенным энергопотреблением.

Для развития и успешного функционирования малых промышленных предприятий актуальна разработка гибких систем управления, позволяющих перенастраиваться на новый вид продукции, новую рецептуру.

В Мурманском государственном техническом университете разработана и внедрена в производство в учебно-экспериментальном цехе малогабаритная сушильная установка, предназначенная для разработки малоотходных технологических процессов получения солено-сушеной и копченой продукции, а также создан программно-аппаратный комплекс, реализующий систему гибкого автоматического управления процессами термической обработки сырья в соответствии с техническими достижениями современной науки и техники.

Методы и средства автоматизации

Объект автоматизации. Малогабаритная сушильная установка (рис. 1) характеризуется небольшими габаритами (1 180 × 780 × 1 430 мм), равномерным полем скоростей внутри камеры, автоматическим регулированием режимов тепловой обработки на протяжении всего технологического процесса.

В состав установки входит термокамера с элементами подогрева сушильного агента, а также блок автоматики, реализующий систему автоматического управления термическими

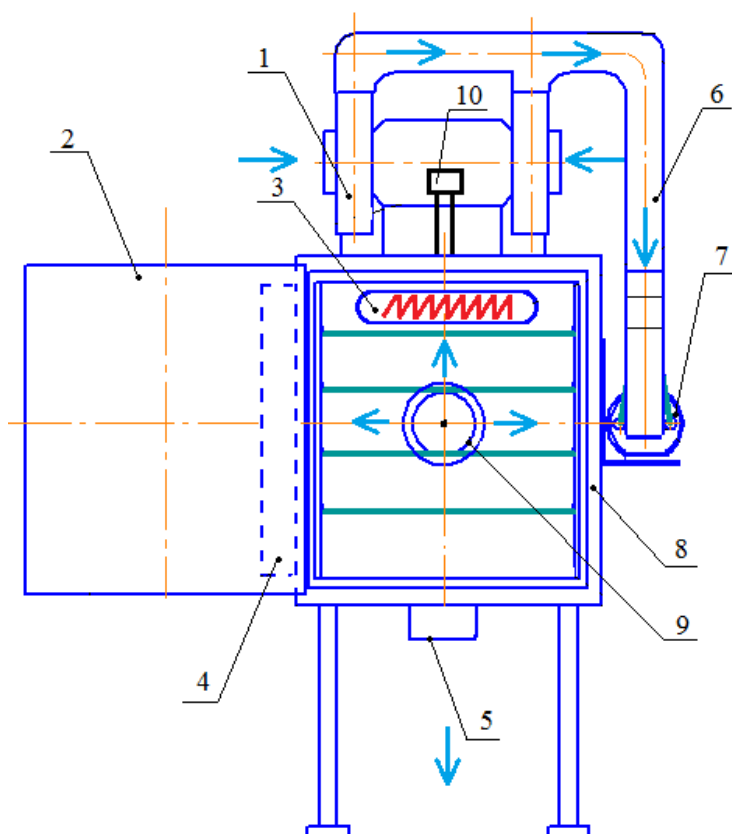


Рис. 1. Общий вид малогабаритной сушильной установки: 1 – двухсторонний центробежный вентилятор; 2 – дверь загрузки-выгрузки; 3 – инфракрасные лампы; 4 – блок автоматики; 5 – выходной патрубок; 6 – нагнетающий воздуховод; 7 – камера нагрева воздуха с трубчатым электронагревателем; 8 – корпус малогабаритной сушильной установки; 9 – входной патрубок, соединенный с камерой нагрева (7); 10 – устройство для измерения температуры с использованием инфракрасного датчика

процессами обработки сырья. Камера малогабаритной сушильной установки оснащена дверью загрузки и выгрузки сырья.

Конструкция установки для подготовки и подогрева сушильного агента включает следующие элементы:

- центробежный нагнетательный вентилятор;
- камера нагрева воздуха с трубчатым электронагревателем (ТЭН) мощностью 2 кВт;
- лампы инфракрасного излучения (ИК-лампы) мощностью 2 кВт.

Программно-аппаратный комплекс гибкого автоматического управления процессами термической обработки сырья для малогабаритной сушильной установки разрабатывался в соответствии с ГОСТам 24.104-85 «Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Автоматизированные системы управления. Общие требования» и 34.003-90 «Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения». Программно-аппаратный комплекс создавался как гибкая, универсальная SCADA система, позволяющая покрыть широкий круг промышленных задач, связанных с термической обработкой сырья в пищевой промышленности [2].

Аппаратная часть комплекса (рис. 2) выполнена на оборудовании хорошо зарекомендовавшего себя российского производителя автоматики – фирмы «ОВЕН», отличающейся надежностью выпускаемых элементов. Система автоматики состоит из таких элементов аналогового и дискретного ввода / вывода информации, как МВУ8, МВА8, МДВВ, БУСТ2 и др.

Программно-аппаратный комплекс построен на информационной сети стандарта EIA RS-485 (рис. 3). Стандарт предусматривает передачу данных с помощью «симметричного» (дифференциального) сигнала по двум линиям (А и В) и использование дополнительной линии для выравнивания потенциалов заземления устройств, объединенных в сеть. Логический уровень сигнала определяется разностью напряжений на линиях (А–В), при этом логической

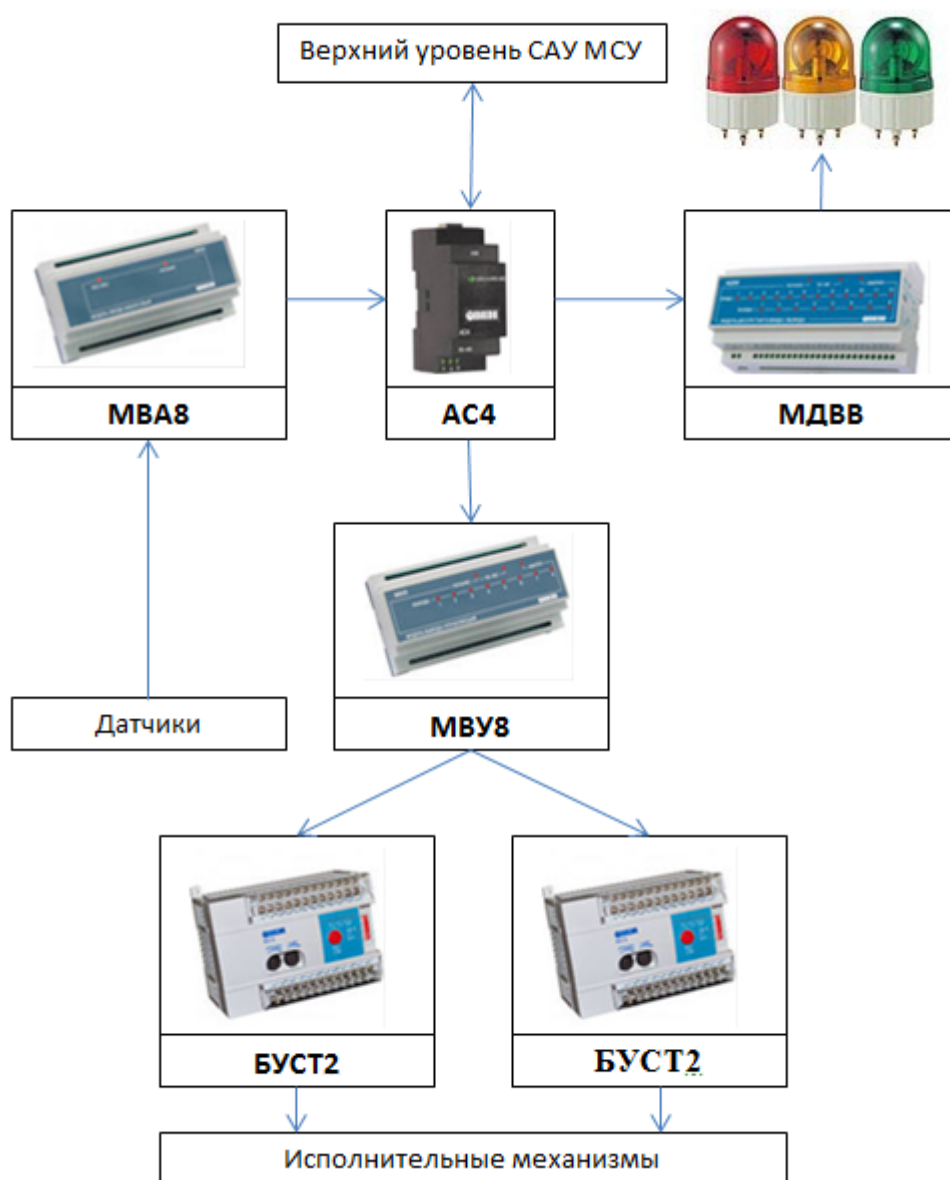


Рис. 2. Структура аппаратной части комплекса

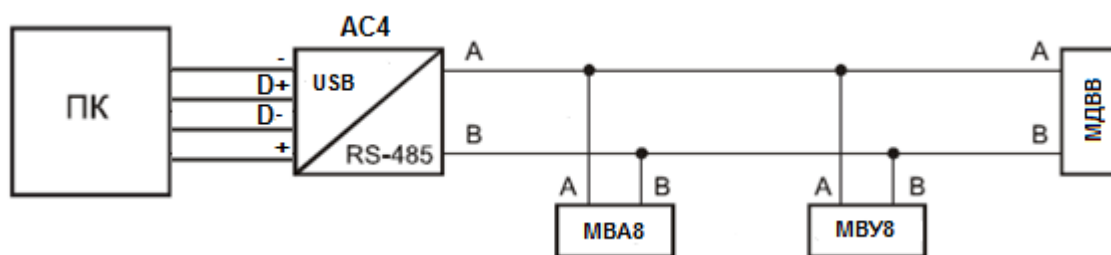


Рис. 3. Схема информационной сети программно-аппаратного комплекса

единице соответствует диапазон значений напряжения от +0,2 до +5 В, а логическому нулю – диапазон значений от –0,2 до –5 В. Диапазон от –0,2 до +0,2 В соответствует зоне нечувствительности приемника.

Управление малогабаритной сушильной установкой осуществляется с персонального компьютера благодаря прибору АС4, который предназначен для взаимного электрического преобразования сигналов интерфейсов USB и RS-485 с обеспечением гальванической изоляции входов между собой. Прибор автоматически определяет направление передачи данных, что позволяет исключить необходимость в дополнительном управлении обменом данными и значительно снизить временные интервалы (тайм-ауты) между кадрами данных.

Элементы аналогового и дискретного ввода / вывода информации работают в сети RS-485 по стандартному протоколу «ОВЕН», являющемуся разновидностью протокола ModBus.

Модуль ввода аналоговый измерительный МВА8 предназначен для сбора информации с датчиков системы:

- термосопротивления ТСП 100П фирмы «ОВЕН», измеряющее температуру в термокамере малогабаритной сушильной установки в диапазоне от –200 до 750 °С с разрешающей способностью 0,1°С и пределом основной приведенной погрешности 0,25 %;
- устройства для непрерывного бесконтактного измерения температуры¹ с использованием стационарного инфракрасного датчика температуры серии СТ фирмы «Optris», измеряющего температуру поверхности сырья в диапазоне от –50 до 900 °С с оптическим разрешением 20 : 1 и точностью ±1 %, но не менее ±1 °С [3].

Модуль дискретного ввода / вывода МДВВ предназначен для сбора сигналов, поступающих от конечных выключателей и сигнализирующих о закрытии двери малогабаритной сушильной установки, для включения световой индикации режимов работы установки, а также для управления по сигналам из сети RS-485 центробежным нагнетательным вентилятором.

Модуль МВУ8 предназначен для преобразования цифровых сигналов, передаваемых по сети RS-485, в аналоговые сигналы управления исполнительными механизмами (трубчатыми электронагревателями и инфракрасными лампами). Управляющие сигналы от модуля МВУ8 поступают на исполнительные механизмы посредством симисторов, используемых для регулирования напряжения питания резистивно-индуктивных нагрузок. Длительность открытого состояния симисторов регулируется приборами БУСТ2 по входному управляющему сигналу от модуля МВУ8.

Программная часть комплекса скомпилирована средствами императивного, структурированного, объектно-ориентированного языка программирования Delphi, являющегося диалектом Object Pascal.

Программная часть комплекса, схематично представленная на рис. 4, состоит из следующих элементов:

- программное обеспечение «Система автоматического управления малогабаритной сушильной установкой»;
- программное обеспечение «Конструктор алгоритма работы малогабаритной сушильной установки»;
- программный модуль «Конфигуратор системы автоматического управления малогабаритной сушильной установкой»;
- программное обеспечение «Анализатор экспериментальных данных САУ МСУ»;
- программное обеспечение «Автоматизированное рабочее место удаленного доступа к САУ МСУ»;
- программное обеспечение «Мобильный обозреватель САУ МСУ»;
- программный модуль «DATAREADER»;
- программный модуль «WEBCAM».

¹ Вотинцов М. В., Маслов А. А., Вотинцов В. В. Устройство для непрерывного бесконтактного измерения температуры: Заявитель и патентообладатель Мурман. гос. техн. ун-т. Заявка № 2011114739/28; заявл. 14.04.2011; опубл. 20.10.2011. Бюл. № 29. 10 с.: ил.

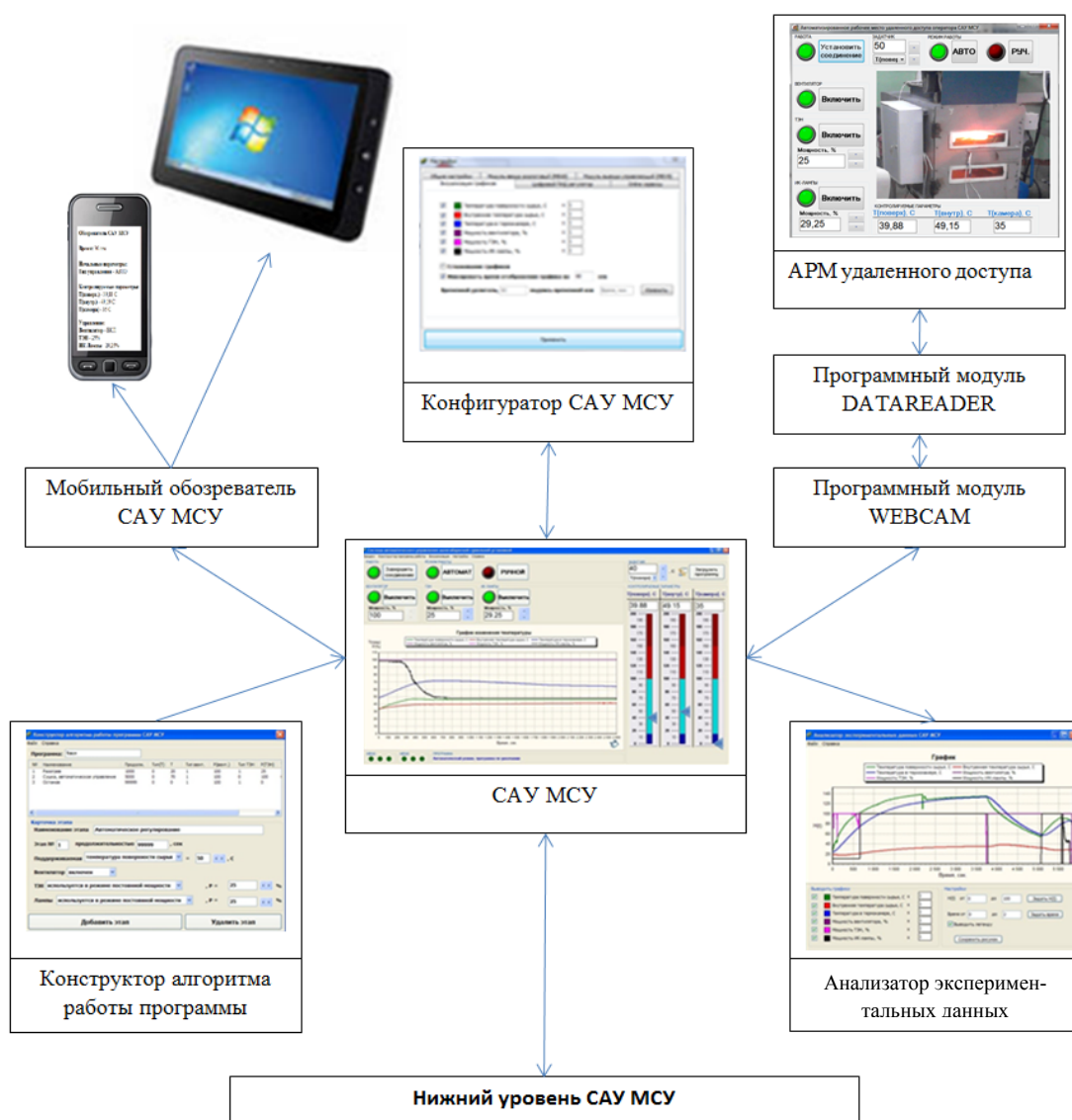


Рис. 4. Структура программной части комплекса

Программное обеспечение элемента «Система автоматического управления малогабаритной сушильной установкой» реализует основные принципы автоматического управления техническими объектами [4]. Программное обеспечение легко в освоении, настройке и эксплуатации, так как имеет наглядный и интуитивно понятный интерфейс (рис. 5).

Программное обеспечение «Система автоматического управления малогабаритной сушильной установкой» обеспечивает функционирование персонального компьютера в информационной сети в качестве «мастера сети». Обмен информацией с аппаратными модулями осуществляется в сети RS-485 по стандартному протоколу «ОВЕН».

Программная реализация протокола «ОВЕН» осуществляется средствами Delphi с помощью библиотеки OWEN_IO.lib, которая позволяет организовать поддержку приборов ОВЕН в сети RS-485. Так, функция открытия порта для установки соединения выглядит следующим образом:

- function OpenPort(*n*, speed, parity, bits, stop, converter: DWORD): Integer, где
- *n* – номер порта;
- speed – скорость порта, устанавливаемая от 300 кбит/с (–3) до 115 200 кбит/с (8);

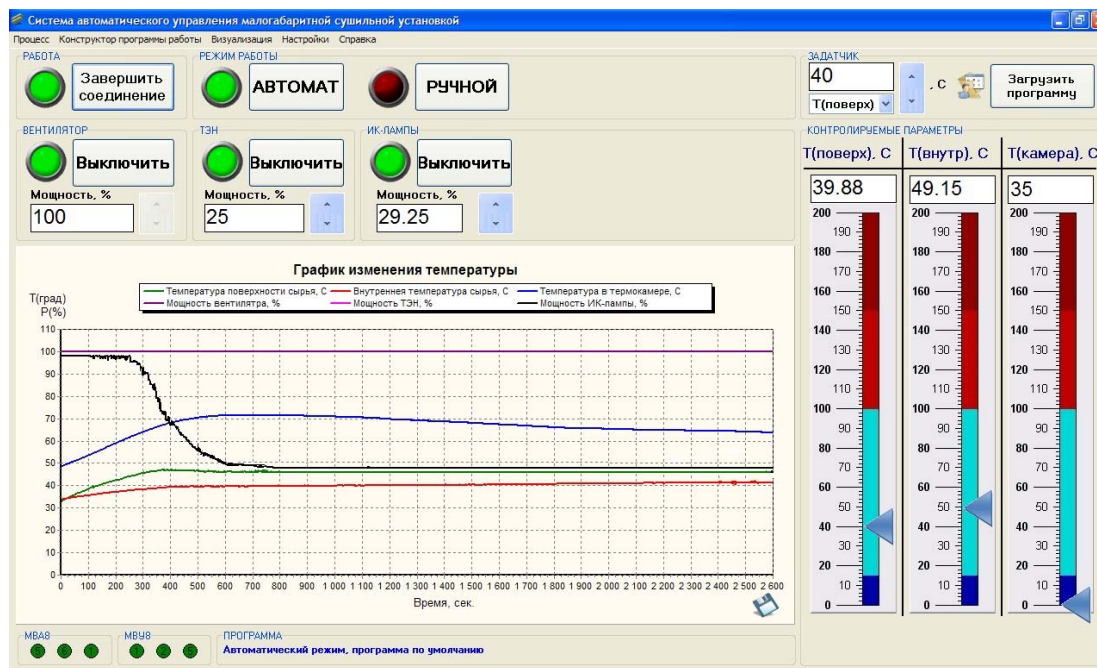


Рис. 5. Экранная форма системы автоматического управления малогабаритной сушильной установкой

- parity – бит четности (0 – без бита четности, 1 – четный, 2 – нечетный);
- bits – бит данных (7 или 8 бит данных);
- stop – указываются стоповые биты;
- converter – указывается тип управляющего преобразователя сети.

В случае использования третьего порта, подключенного к автоматическому преобразователю АС4 на скорости 9 600 кбит/с без бита четности, с данными в формате 8 бит функция выглядит следующим образом:

```
OpenPort(1, 2, 0, 1, 0, 1).
```

Функция возвращает значение 0 при корректном открытии порта.

Закрытие порта осуществляется функцией

```
function ClosePort: Integer.
```

Чтение данных с приборов МВА8 и МДВВ в формате числа с плавающей точкой осуществляется функцией:

```
function ReadFloat24 (adr, adr_type: DWORD; command: PChar; var value: Single; index: Integer): Integer, где:
```

- adr – адрес устройства в сети RS-485;
- adr_type – длина адреса (8 или 11 бит);
- value – переменная, куда считываются данные.

Остальные параметры приводятся производителем по умолчанию, таким образом, для считывания с прибора с адресом 8 в формате 8 бит в переменную values функция имеет вид

```
ReadFloat24 (8, 0, 'rEAd', values, -1).
```

Аналогично осуществляется операция вывода управляющих сигналов на устройство МВУ8. Функция вывода имеет вид

```
function WriteFloat24(adr, adr_type: DWORD; command: PChar; value: Single; index: Integer): Integer.
```

При выводе управляющего сигнала на прибор с адресом 8 в формате 8 бит из переменной values1 функция имеет вид

```
WriteFloat24(9,0,'r.oe',values1,-1).
```

Алгоритм функционирования программного обеспечения «Система автоматического управления малогабаритной сушильной установкой» представлен на рис. 6.

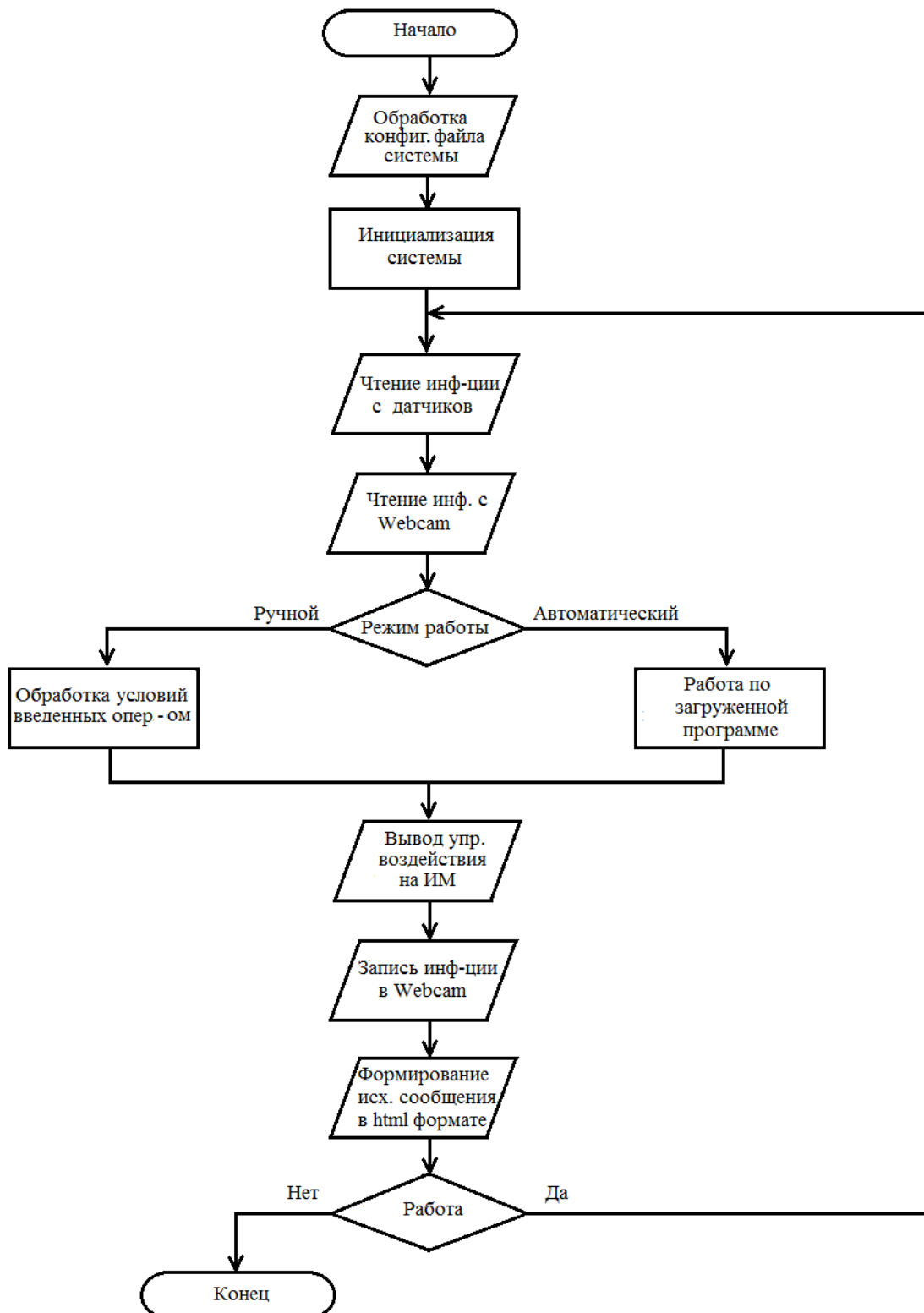


Рис. 6. Алгоритм функционирования программного обеспечения «Система автоматического управления малогабаритной сушильной установкой»

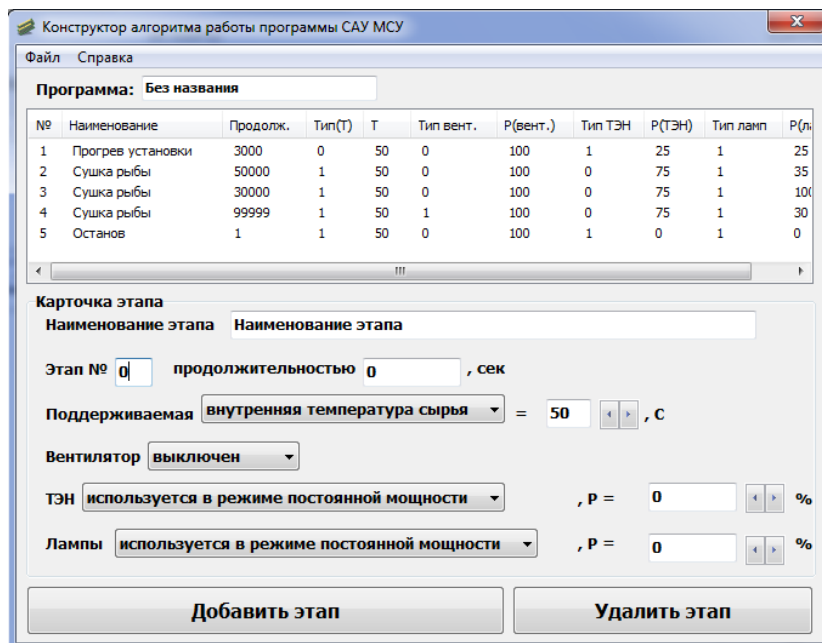


Рис. 7. Экранная форма конструктора алгоритмов работы программы

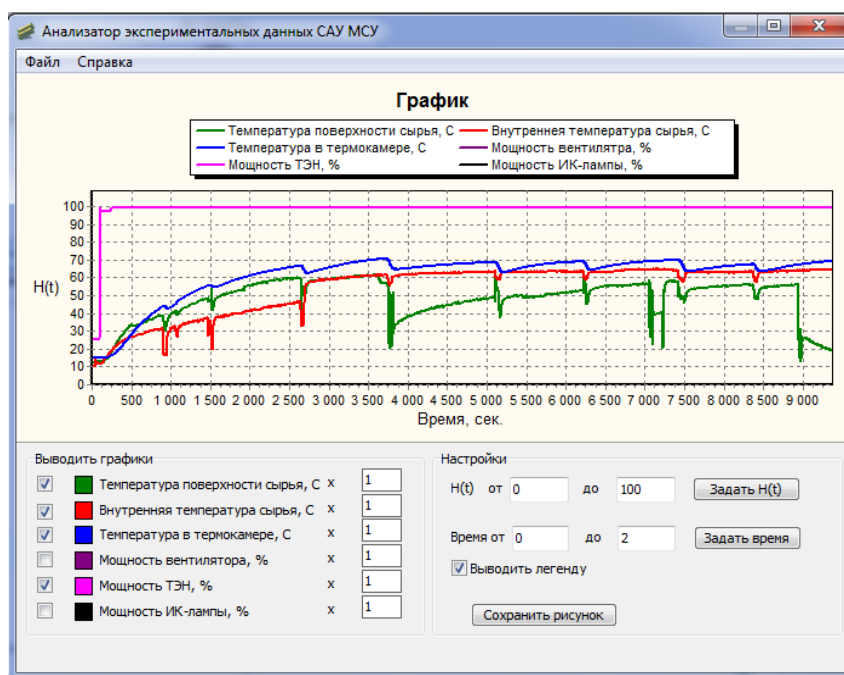


Рис. 8. Экранная форма «Анализатор экспериментальных данных»

Программное обеспечение «Система автоматического управления малогабаритной сушильной установкой» реализует автоматический и ручной режим работы. В ручном режиме контроль технологического процесса осуществляет оператор. В автоматическом режиме управление сушильной установкой осуществляется без вмешательства оператора, ход процесса контролируется программой, сформированной в программном обеспечении «Конструктор алгоритмов работы малогабаритной сушильной установки» (рис. 7)² и загруженной в систему. Программное обеспечение «Конструктор алгоритма работы малогабаритной су-

² Вотин М. В., Ериов М. А., Маслов А. А. Конструктор алгоритма работы малогабаритной сушильной установки: Свид-во об офиц. рег. прогр. для ЭВМ 2011616585 Рос. Федерация.: правообладатель «Мурман. гос. техн. ун-т».

шильной установки» предназначено для проектирования алгоритма, по которому будет функционировать автоматика термокамеры.

«Конструктор алгоритмов работы малогабаритной сушильной установки» обеспечивает гибкость всего программно-аппаратного комплекса, так как позволяет настраивать программу под конкретные технологические процессы термической обработки сырья. Программное обеспечение дает возможность пользователю вводить до 1 000 этапов работы, на каждом конкретном этапе позволяет задавать различные комбинации режимов работы (автоматический режим, режим постоянной мощности и др.) исполнительных механизмов (инфракрасные лампы, ТЭНы, центробежный вентилятор и др.).

В автоматическом режиме работы системы управление технологическим процессом осуществляется посредством встроенных цифровых пропорциональных интегрально-дифференциальных (ПИД) регуляторов, использование которых обуславливается их распространенностью в системах автоматического управления, простотой и надежностью [5].

Для уменьшения времени поиска оптимальных параметров цифровых ПИД регуляторов в состав программно-аппаратного комплекса гибкого автоматического управления процессами термической обработки сырья входит программа «Идентификация модели термообъекта по переходной характеристике»³, которая позволяет произвести расчет передаточной функции объекта управления (термокамеры) по экспериментальным данным на основе его переходной характеристики. На основании полученных данных с использованием программного обеспечения PID OPTIMIZE VIEWER⁴ производится первоначальная настройка цифровых ПИД регуляторов. В планах дальнейшего развития информационной системы программно-аппаратного комплекса – реализация адаптивных алгоритмов настройки цифровых ПИД регуляторов.

Настройка программной и аппаратной части комплекса гибкого автоматического управления процессами термической обработки сырья ведется через программный модуль «Конфигуратор системы автоматического управления малогабаритной сушильной установкой»⁵. Модуль работает с конфигурационным ini-файлом системы и позволяет пользователю конфигурировать устройства ввода-вывода информации, производить первоначальную настройку цифровых ПИД регуляторов, а также конфигурировать сетевые настройки для функционирования модулей «DATAREADER» и «WEBCAM».

Функционируя в режиме реального времени, программное обеспечение «Система автоматического управления малогабаритной сушильной установкой» ведет архивирование всей информации о ходе технологического процесса в базу данных Microsoft Access.

В Delphi реализация подключения к базе данных выполнена с помощью интерфейса программирования приложений для доступа к данным ActiveX Data Objects, разработанного компанией Microsoft с использованием драйвера Microsoft Jet 4.0.

Для наглядного просмотра заархивированных данных разработано программное обеспечение «Анализатор экспериментальных данных САУ МСУ»⁶ (рис. 8).

В информационной системе комплекса гибкого автоматического управления процессами термической обработки сырья стандартными средствами Delphi реализованы возможности удаленного online-мониторинга и сетевого контроля.

Online-мониторинг основан на использовании протокола FTP, предназначенного для передачи файлов в компьютерных сетях, с помощью компоненты Delphi IdFTP. Программное обеспечение «Мобильный обозреватель САУ МСУ» формирует файлы в формате html и передает их на удаленный сервер. В системе в качестве удаленного сервера выбран сервер Мурманского государственного технического университета (<http://ftp.mstu.edu.ru>). Пользова-

³ *Вотинов М. В.* Идентификация модели термообъекта по переходной характеристике: Свид-во об офиц. рег. progr. для ЭВМ 2011616587 Рос. Федерация. Правообладатель Мурман. гос. техн. ун-т.

⁴ *Вотинов М. В., Маслов А. А.* Программное обеспечение PID OPTIMIZE VIEWER для моделирования и оптимизации цифровых пропорционально-интегрально-дифференциальных регуляторов: Свид-во об офиц. рег. progr. для ЭВМ 2011615754 Рос. Федерация. Правообладатель Мурман. гос. техн. ун-т.

⁵ *Вотинов М. В.* Конфигуратор САУ МСУ: Свид-во об офиц. рег. progr. для ЭВМ 2011617606 Рос. Федерация. Правообладатель Мурман. гос. техн. ун-т.

⁶ *Вотинов М. В.* Анализатор экспериментальных данных системы автоматического управления малогабаритной сушильной установкой: Свидетельство об офиц. рег. progr. для ЭВМ 2011617562 Рос. Федерация. Правообладатель Мурман. гос. техн. ун-т.

тели, используя телекоммуникационные каналы связи, такие как мобильная связь, Интернет, и набирая в браузере мобильных устройств адрес http://aivt.mstu.edu.ru/msu_viewer.html, в online-режиме производят мониторинг функционирования программно-аппаратного комплекса.

Одной из проблем протокола FTP является его защита. Протокол не шифруется, при аутентификации передаются логин и пароль открытым текстом, поэтому разработка, помимо мониторинга, еще и удаленного контроля была нецелесообразной. Вместе с тем в информационной системе программно-аппаратного комплекса реализованы функции сетевого контроля и управления малогабаритной сушильной установкой по закрытой локальной вычислительной сети на базе программного обеспечения «Автоматизированное рабочее место удаленного доступа к САУ МСУ» (АРМУД). Программное обеспечение позволяет удаленно управлять всем технологическим процессом, протекающим в малогабаритной сушильной установке. Для визуализации технологического процесса АРМУД отображает в online-режиме видеопоток с Web-камеры, формируемый программным модулем «WEBCAM» и поступающий посредством программного модуля «DATAREADER».

Заключение

В настоящее время программно-аппаратный комплекс гибкого автоматического управления процессами термической обработки сырья полностью адаптирован и оптимизирован под работу на малогабаритной сушильной установке в учебно-экспериментальном цехе Мурманского государственного технического университета.

На базе программного обеспечения «Система автоматического управления малогабаритной сушильной установкой» с использованием прикладных программных средств удалось реализовать систему гибкого автоматического управления процессами термической обработки сырья, необходимую для малых предприятий пищевой промышленности. Гибкость обеспечивается за счет разработки собственных алгоритмов технологических процессов на базе программного обеспечения «Конструктор алгоритмов работы малогабаритной сушильной установки». В настоящее время сформированы алгоритмы программ для процессов горячей, холодной сушки и вяления рыбы по разным видам рыб.

Применение автоматики российского производителя – фирмы «ОВЕН» в отличие от иностранных производителей позволяет снизить себестоимость программно-аппаратного комплекса и сократить сроки доставки модулей автоматики для замены либо дальнейшего наращивания системы.

Использование современных информационных средств сетевого контроля позволяет установить рабочее место оператора на удаленном расстоянии от малогабаритной сушильной установки с применением каналов локальной вычислительной сети. Применение мобильных средств online-мониторинга по телекоммуникационным каналам связи позволяет производить контроль технологического процесса, например, начальнику цеха, даже не находясь в помещении цеха.

Таким образом, разработанный и внедренный программно-аппаратный комплекс гибкого автоматического управления процессами термической обработки сырья содержит новизну при реализации технических решений, а его применение на малых предприятиях России позволит осуществлять оперативный контроль за ходом технологического процесса производства.

Список литературы

1. Россия в цифрах. 2011: Крат. стат. сб. / Росстат. М., 2011. 581 с.
2. Вотинцов М. В., Маслов А. А. Систематизация требований, предъявляемых к системам автоматического управления сушильными установками // Наука и образование 2011: Междунар. науч.-техн. конф. Мурманск, 2012.
3. Вотинцов М. В., Еришов М. А. Специфика использования инфракрасных датчиков температуры в пищевой промышленности // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. Курск, 2011.

4. *Albertos P., Mareels I.* Feedback and Control for Everyone. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2010. 318 p.
5. *Ang K., Chong G., Li Y.* PID Control System Analysis, Design, and Technology // IEEE Transactions on Control Systems Technology. 2005. Vol. 13. No. 4. P. 559–576.

Материал поступил в редколлегию 22.05.2012

M. V. Votinov, A. A. Maslov

**AUTOMATION OF THERMALS PROCESSING OF RAW MATERIALS TECHNOLOGICAL PROCESS
IN THE FOOD INDUSTRY BY THE EXAMPLE OF THE SMALL DRYING BOX**

The article is devoted to the topical issues of support of small enterprises of Russia flexible systems of automated control in parts of the thermal processing of raw materials the food industry, allowing in a matter of seconds retune itself on a new product and a new recipe.

Keywords: automation, thermal processing of raw materials, control and information processing, food industry, drying facility.