

УДК 681.51

## Комплексная автоматизация процессов термической обработки рыбы на примере малогабаритной сушильной установки

М.В. Вотинов<sup>1</sup>, А.А. Маслов<sup>1</sup>, М.А. Ершов<sup>2</sup>, В.А. Похольченко<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Политехнический факультет МГТУ, кафедра автоматики и вычислительной техники

<sup>2</sup> Факультет пищевых технологий и биологии МГТУ, кафедра технологий пищевых производств

<sup>3</sup> Факультет пищевых технологий и биологии МГТУ, кафедра технологического и холодильного оборудования

**Аннотация.** Статья посвящена актуальным вопросам обеспечения малых предприятий России гибкими системами автоматического управления в части термической обработки сырья рыбной промышленности, позволяющими в минимальные сроки перенастроить технологический процесс на новый вид продукции. В статье приведены современные технические решения в области бесконтактного измерения температуры в термокамерах.

**Abstract.** The paper considers topical issues of support of small enterprises in Russia by flexible systems of automated control for thermal processing of raw materials in food industry. These systems permit to retune technological process on a new product in a matter of seconds. The paper presents modern technical solutions in the field of non-contact temperature measurement in thermal boxes.

**Ключевые слова:** автоматизация, термическая обработка сырья, управление и обработка информации, САУ МСУ, контроль температуры, пищевая промышленность

**Key words:** automation, thermal processing of raw materials, control and information processing, SAU MSU, temperature control, food industry

### 1. Введение

Рыбная промышленность в Мурманской области является одной из традиционных ведущих отраслей. Объем производства предприятиями Мурманской области пищевой рыбной продукции, включая консервы, в 2009 г. составил 530 тыс. т.

В настоящее время наблюдаются тенденции, направленные на расширение видового состава сырья и, как следствие, на расширение ассортимента готовой продукции. Разрабатываются новые и совершенствуются уже существующие технологии производства той или иной продукции.

Одними из основных процессов обработки гидробионтов являются тепловые процессы (сушка, вяление, копчение), которые по своей структуре достаточно трудоемки и во многом зависят от вида обрабатываемого сырья.

Систематизация материала по типам используемых в рыбной промышленности термокамер и систем управления ими показала, что до сих пор на многих предприятиях используется оборудование, разработанное отечественной промышленностью десятилетия назад.

Для развития и успешного функционирования малых рыбоперерабатывающих предприятий актуальна разработка компактного, простого в эксплуатации оборудования, оснащенного гибкими системами автоматического управления технологическим процессом. Применение такого оборудования позволит в минимальные сроки менять параметры технологического процесса, использовать энергоэффективные способы обработки сырья, быстро адаптироваться к выпуску новой продукции.

В Мурманском государственном техническом университете спроектирована и изготовлена малогабаритная сушильная установка (МСУ), предназначенная для разработки малоотходных технологических процессов получения солено-сушеных и копченых изделий (Вотинов и др., 2012). На примере МСУ были проведены работы, в процессе которых решались следующие задачи:

- разработка новых технических решений в области бесконтактного измерения температуры в термокамерах;
- разработка программно-аппаратного комплекса, реализующего систему гибкого автоматического управления процессами термической обработки сырья в соответствии с техническими

достижениями современной науки и техники, а также с учетом специфики работы малых промышленных предприятий;

- настройка программной части на оптимальный режим работы.

## 2. Методы и результаты

Термическая обработка составляет основу многих технологических процессов в рыбной промышленности. Выбранный температурный режим оказывает непосредственное влияние на параметры технологического процесса: продолжительность тепловой обработки, объемы готовой продукции и сроки ее хранения. Потребительские свойства готового продукта также зависят от температурного режима обработки сырья. Выбор рациональных режимов тепловой обработки гидробионтов в условиях экономии энергоресурсов и конкуренции производителей остается актуальной задачей. Для успешного проектирования энергоэффективных режимов обезвоживания гидробионтов необходимо обеспечить оперативный контроль изменения температуры сырья во время тепловой обработки.

В настоящее время в рыбной промышленности в основном используются обычные стационарные контактные датчики температуры: термопары или термосопротивления. Однако их использование приводит к ряду проблем:

- точное измерение температуры контактными датчиками возможно только при хорошем тепловом контакте с измеряемым объектом;
- существует ограниченный выбор зон контроля, не всегда лучший с точки зрения оптимального регулирования технологического процесса;
- необходимость соблюдения жестких гигиенических требований при эксплуатации датчиков;
- налипание продукта в чувствительной зоне датчика приводит к ошибкам в измерении, к снижению скорости управления технологическим процессом.

Оперативный контроль температуры может быть обеспечен применением инфракрасных датчиков (ИК-датчиков) температуры. ИК-датчики лишены многих недостатков, присущих контактными датчикам температуры. Они практически безынерционны, работают в реальном масштабе времени, позволяют измерять температуру в диапазоне от  $-40$  до  $+2200$  °С.

Температурный режим пищевого производства лежит в диапазоне от  $-30$  до  $+400$  °С. ИК-датчики позволяют бесконтактно измерять температуру сырья непосредственно в процессе производства.

Однако ИК-датчики температуры обладают рядом недостатков, в связи с чем возникает ряд проблем при их использовании в промышленности:

1) Трудность позиционирования ИК-датчиков. В термокамерах, где температуры достигают от  $+200$  до  $+400$  °С, размещение ИК-датчиков невозможно ввиду небольшого диапазона их рабочих температур (в среднем  $85$  °С). В подобных условиях они выйдут из строя.

2) Каждая конкретная модель ИК-датчиков температуры помимо диапазона измеряемых температур обладает собственным показателем визирования ( $D:L$ ), который представляет собой отношение зоны измерения  $D$  к расстоянию между датчиком и объектом  $L$  (рис. 1).

При значениях показателя визирования 1:1 и при значительном удалении датчика от продукта (сырья) показания температуры будут неточными из-за попадания в область визирования датчика сторонних инфракрасных излучений.

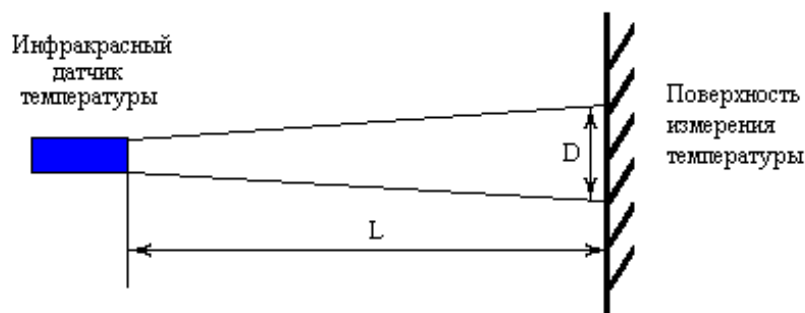


Рис. 1. Показатель визирования

ИК-датчики температуры с показателями визирования порядка 1:100 отличаются хорошей точностью, однако они в разы дороже вышеописанных датчиков. Применение их в установках рыбной промышленности невыгодно с экономической точки зрения.

Для устранения данных недостатков было разработано и внедрено в конструкцию МСУ устройство для непрерывного бесконтактного измерения температуры с использованием стационарных ИК-датчиков. Устройство зарегистрировано в федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам и имеет патент на полезную модель № 109559 (Вотинов, Маслов, 2011).

Данное устройство обладает следующими достоинствами:

- конструкция устройства позволяет использовать стационарные ИК-датчики температуры в любых герметичных термокамерах пищевых производств;
- принудительное ограничение области визирования ИК-датчика дает возможность использования стационарных ИК-датчиков с показателями визирования порядка 1:1 без потери точности измерения температуры;
- возможность использования сменных стационарных ИК-датчиков температуры разных производителей и разной конфигурации;
- возможность использования сравнительно недорогих стационарных ИК-датчиков температуры;
- механическая и термическая защиты стационарного ИК-датчика температуры;
- малые габаритные размеры и простота конструкции.

Структурная схема устройства показана на рис. 2.

В данном техническом решении стационарный ИК-датчик температуры, представленный на рис. 3 моделью "Кельвин икс 4-20" фирмы ЗАО "Евромикс" (1), устанавливается в съемную насадку-фиксатор (8), расположенную в охлаждающем стакане (7), препятствующем выходу газов, теплого воздуха из термокамеры. Контактная группа проводов датчика (питание, информационные линии) пропускается через резиновое кольцо-уплотнитель (2), которое, в свою очередь, предназначено для герметизации устройства в местах резьбовых соединений.

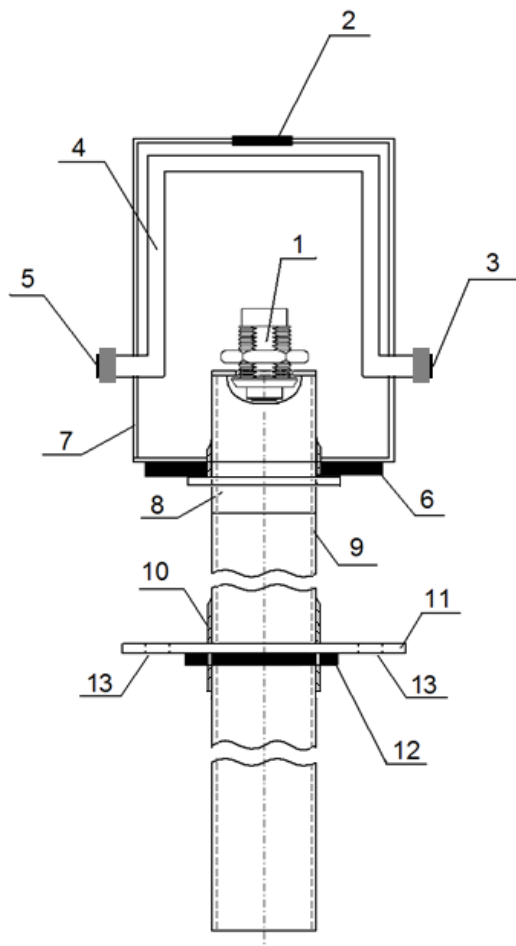


Рис. 2. Фиксирующее наводящее устройство для непрерывного бесконтактного измерения температуры с помощью стационарного ИК-датчика: 1 – стационарный ИК-датчик температуры; 2 – резиновое кольцо-уплотнитель для вывода контактной группы проводов стационарного ИК-датчика (питание, информационные линии); 3 – вход водяного охлаждения; 4 – шланг для водяного охлаждения; 5 – выход водяного охлаждения; 6 – резиновое кольцо-уплотнитель охлаждающего стакана; 7 – охлаждающий стакан; 8 – съемная насадка-фиксатор стационарного ИК-датчика температуры; 9 – удлиняющая труба; 10 – резьба; 11 – крепежное соединение к корпусу термокамеры; 12 – резиновое кольцо-уплотнитель; 13 – крепежные отверстия

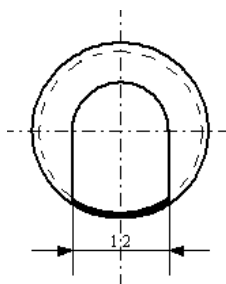


Рис. 3. Вид сверху съемной насадки-фиксатора для стационарного ИК-датчика температуры "Кельвин икс 4-20"

Перемещаясь по резьбе 10, устройство позиционируется и фиксируется к корпусу термокамеры с помощью крепежного соединения (11). Для дополнительного охлаждения стационарного ИК-датчика используется система водяного охлаждения (3 – вход водяного охлаждения; 4 – шланг для водяного охлаждения; 5 – выход водяного охлаждения).

Использование удлиняющей трубки (9) позволяет:

- ограничить область визирования стационарного ИК-датчика;
- препятствовать попаданию в область визирования датчика сторонних инфракрасных излучений;
- обеспечить удаленность чувствительного элемента стационарного ИК-датчика температуры от термокамеры, тем самым уменьшая тепловое воздействие на него.

Применение фиксирующего наводящего устройства дает возможность использовать недорогие ИК-датчики температуры в малогабаритной сушильной установке. Простота и функциональность данного устройства позволяет использовать ИК-датчики температуры для различного теплового оборудования пищевой промышленности.

Программно-аппаратный комплекс гибкого автоматического управления процессами термической обработки сырья для МСУ разрабатывался, в соответствии с ГОСТ 24.104-85, ГОСТ 34.003-90, как универсальная SCADA система, позволяющая покрыть широкий круг промышленных задач, связанных с термической обработкой сырья в пищевой промышленности. Аппаратная часть комплекса выполнена на оборудовании российской фирмы "ОВЕН", которая хорошо зарекомендовала себя на рынке автоматики. Оборудование фирмы "ОВЕН" отличается надежностью выпускаемых элементов. Система автоматики собрана в компактном корпусе и состоит из элементов аналогового и дискретного ввода/вывода информации: МВУ8, МВА8, МДВВ, БУСТ2 и др. (рис. 4).

Система безопасна для обслуживающего персонала и выполнена по всем нормам противопожарной безопасности.

Программное обеспечение "Система автоматического управления малогабаритной сушильной установкой" реализует основные принципы автоматического управления (Albertos, Mareels, 2010). Программное обеспечение легко в освоении, настройке и эксплуатации, т.к. имеет наглядный и интуитивно понятный интерфейс (рис. 5).

Программное обеспечение дает возможность задавать автоматический и ручной режимы работы установки. Автоматический режим управления МСУ подразумевает управление технологическим процессом сушки без вмешательства оператора, то есть ход процесса контролируется программой, заложенной в САУ. Энергосбережение является насущной потребностью современного предприятия. Хорошо отлаженная программа позволяет наилучшим способом управлять технологическим процессом, получать стабильно высокие результаты, как по

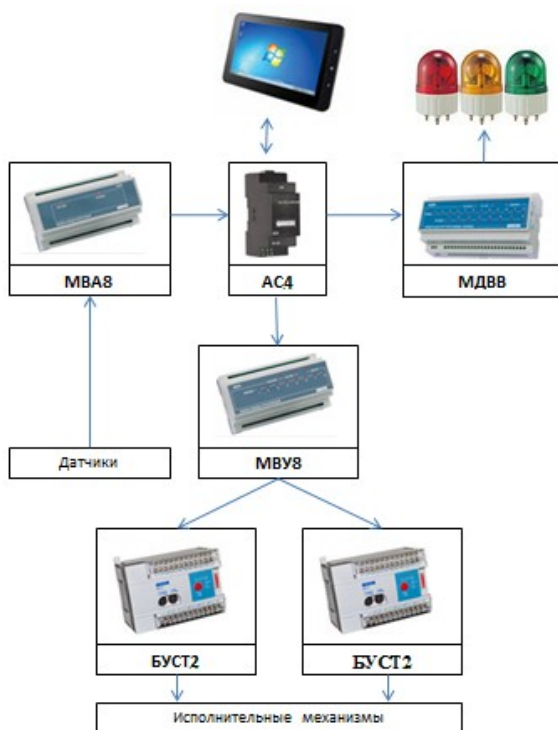


Рис. 4. Структура аппаратной части комплекса

качеству готового продукта, так и по энергосбережению, чего практически невозможно достигнуть при использовании ручного управления. Система управления имеет и ручной режим, позволяющий оператору при необходимости вмешиваться в технологический процесс.

Обычно программы термической обработки сырья, предлагаемые изготовителем, не вполне устраивают опытных технологов. Автоматика должна предоставлять возможность пользователю менять все параметры, влияющие на процесс сушки, добиваясь оптимизации энергопотребления, продолжительности технологического процесса, соответствующего качества продукта. Такая гибкость системы обеспечивается наличием встроенного конструктора алгоритмов работы программы, который имеет свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011616585 (рис. 6).

Программа "Конструктор алгоритма работы малогабаритной сушильной установки" предназначена для проектирования режима, по которому будут функционировать автоматика и термокамера в целом. Программа дает возможность пользователю вводить до 1000 этапов работы, на каждом конкретном этапе позволяя задавать различные комбинации режимов работы (автоматический режим, режим постоянной мощности) исполнительных механизмов (инфракрасных ламп, ТЭНов, центробежных вентиляторов, СВЧ-приборов). Весь алгоритм работы программно-аппаратного комплекса формируется в одном файле с расширением ".prog" для последующей загрузки в систему автоматического управления МСУ.

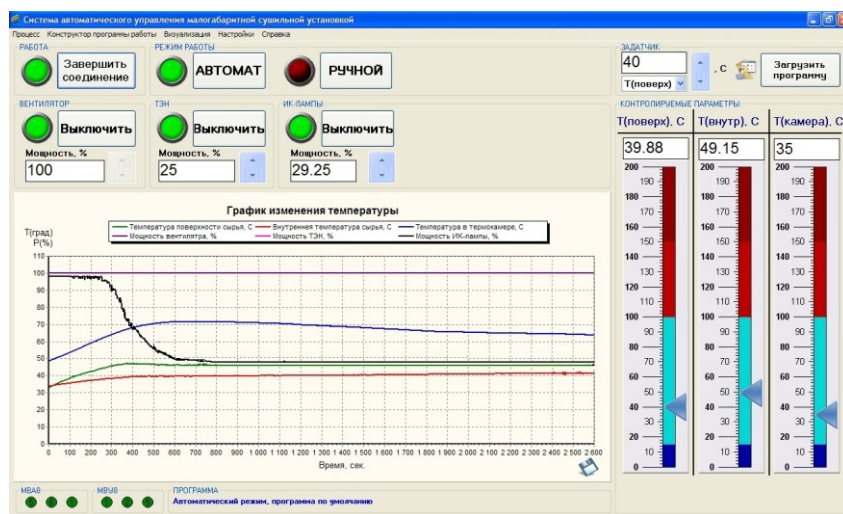


Рис. 5. Система автоматического управления малогабаритной сушильной установкой

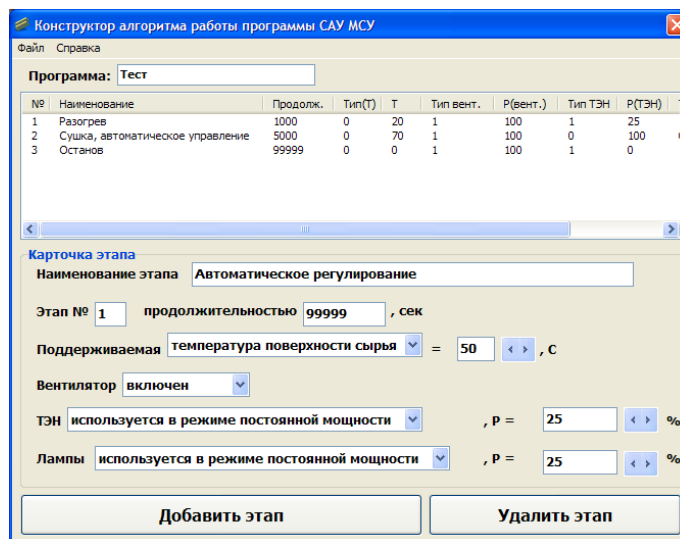


Рис. 6. Конструктор алгоритмов работы программы

В системе в любой момент времени можно подгрузить файлы с расширением "prog", и программа перейдет на другую технологию производства и вид выпускаемой продукции.

Перенастройка аппаратной части ведется через "Конфигуратор САУ МСУ". Данная программа имеет свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011617606 и работает с основным конфигурационным файлом системы автоматического управления МСУ: "config.ini". Программа позволяет пользователю производить настройки соединения RS-485 верхнего и нижнего уровней, конфигурировать устройства ввода – вывода информации. "Конфигуратор САУ МСУ" производит пользовательские настройки адаптивных цифровых ПИД-регуляторов системы. Программа обладает функцией автоматического обновления файла "config.ini" на сервере системы автоматического управления без необходимости остановки технологического процесса.

Программная часть функционирует в режиме реального времени, выдавая оператору на экране всю текущую информацию о технологическом процессе. Вместе с тем, все данные архивируются, для дальнейшего их просмотра предназначена программа "Анализатор экспериментальных данных САУ МСУ", свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011617562. Программа позволяет пользователю выбирать конкретный временной период из всего массива экспериментальных данных для дальнейшего изучения и анализа. Программа обладает функцией избирательного отображения графиков, таким образом, пользователю предоставляется возможность выбора для отображения только определенных, вызывающих повышенный интерес данных. Сформированные визуальные данные выгружаются из программы в виде графического файла с расширением "bmp".

В автоматическом режиме работы системы управление технологическим процессом осуществляется посредством адаптивных ПИД-регуляторов. Использование ПИД-регуляторов обусловливается распространенностью их в системах автоматического управления, простотой и надежностью (Ang et al., 2005).

В состав программно-аппаратного комплекса гибкого автоматического управления процессами термической обработки сырья входит программа "Идентификация модели термо-объекта по переходной характеристике" (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011616587), которая позволяет произвести расчет передаточной функции объекта управления по экспериментальным данным на основе переходной характеристики. На основании полученных данных с использованием программного обеспечения PID OPTIMIZE VIEWER для моделирования и оптимизации цифровых пропорционально-интегрально-дифференциальных регуляторов (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011615754) была произведена первоначальная настройка адаптивных ПИД регуляторов.

### 3. Заключение

В настоящее время программно-аппаратный комплекс гибкого автоматического управления процессами термической обработки рыбы полностью адаптирован и оптимизирован под работу на МСУ. Имеются алгоритмы программ, сформированные в конструкторе алгоритмов работы, для процессов горячей и холодной сушки рыбы.

Новаторские идеи в части определения температуры в термокамерах ИК-датчиками температуры способствуют увеличению точности измерений, положительно влияя на потребительские характеристики готовой продукции.

Вместе с тем, учитывая гибкость системы, необходимо отметить, что программно-аппаратный комплекс может быть развернут и настроен за считанные минуты на любом оборудовании, предназначенном для термической обработки сырья. Малые габариты программно-аппаратного комплекса, использование оборудования отечественного производителя, гибкость системы – все эти факторы актуальны для малых рыбоперерабатывающих предприятий России.

### Литература

- Albertos P., Mareels I. Feedback and control for everyone. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 318 p., 2010.
- Ang K., Chong G., Li Y. PID control system analysis, design, and technology. IEEE Transactions on Control Systems Technology, v. 13, N 4, p.559-576, 2005.
- Вотинов М.В., Ершов М.А., Похольченко В.А. Пат. 117266 Российская Федерация, Малогабаритная сушильная установка; заявитель и патентообладатель ФГОУВПО "Мурман. гос. техн. ун-т". Заявка № 2012109371/15; заявл. 12.03.2012; опубл. 27.06.2012, Бюл. № 18, 9 с., 2012.
- Вотинов М.В., Маслов А.А. Пат. 109559 Российская Федерация, Устройство для непрерывного бесконтактного измерения температуры; заявитель и патентообладатель ФГОУВПО "Мурман. гос. техн. ун-т". Заявка № 2011114739/28; заявл. 14.04.2011; опубл. 20.10.2011, Бюл. № 29, 10 с., 2011.