

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 621.365:66

*Т. С. Ларькина, Г. С. Ленеvский*

**К ВОПРОСУ ВЫБОРА ДАТЧИКОВ ДЛЯ УСТАНОВОК ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ**

UDC 621.365:66

*T. S. Larkina, G. S. Lenevsky*

**ON SELECTION OF SENSORS FOR THE INSTALLATIONS USED ON THERMAL PROCESSING OF FOOD PRODUCTS**

**Аннотация**

Одним из основных способов термической обработки продуктов питания является индукционный нагрев. Преимущество способа – быстрое обеспечение необходимого температурного режима, возможность локального нагрева. Произведен анализ технологического процесса нагрева и подобраны варианты технических решений для адекватности функционирования установки термической обработки продуктов питания. Предложена блок-схема установки.

**Ключевые слова:**

индукционный нагрев, установка для термической обработки продуктов питания, датчики.

**Abstract**

Induction heating is one of the main techniques of thermal processing of food products. The advantage of this technique is in reaching the target temperature quickly and the possibility of local heating. The technological process of heating has been analyzed and the options for technical solutions to ensure adequate functioning of the installation for thermal processing of food have been selected. A block diagram of the installation is presented.

**Key words:**

induction heating, installation for food thermal processing, sensors.

Основными задачами при термической обработке продуктов питания является оптимальное формирование и поддержание основных параметров технологического процесса. Математическое описание процесса термической обработки продуктов питания имеет сложный характер, связанный с распределенностью теплового поля нагрева, что приводит к необходимости решения дифференциальных уравнений, описываемых в частных производных для трехмерной системы с коэффициентами, носящими случайный, а иногда рез-

ко нелинейный характер [1]. Особую сложность при решении задачи формирования оптимального процесса термической обработки продуктов питания вызывает широкий рецептурный ассортимент.

В общем виде процесс термической обработки продуктов питания можно описать в виде дискретного поля нагрева, представленного в виде совокупности  $k$  точек [1]. Для каждой из точек можно записать уравнение вида

$$[M_k] = [f_k([T_1 \ T_2 \ \dots \ T_i],$$

$$[P_1 \ P_2 \ \dots \ P_i], [H_1 \ H_2 \ \dots \ H_i])], \quad (1)$$

где  $[T_1 \ T_2 \ \dots \ T_i]$  – вектор температуры во времени;  $[P_1 \ P_2 \ \dots \ P_i]$  – вектор давления во времени;  $[H_1 \ H_2 \ \dots \ H_i]$  – вектор уровня жидкости во времени;  $M_k$  – интегральная характеристика, показывающая степень готовности продукта.

Для обеспечения технологического процесса термической обработки продуктов питания необходимо сформировать во времени такое поле, которое бы отвечало зависимости

$$[M_{k_0}] = [f_{k_0}([T_{1_0} \ T_{2_0} \ \dots \ T_{i_0}],$$

$$[P_{1_0} \ P_{2_0} \ \dots \ P_{i_0}], [H_{1_0} \ H_{2_0} \ \dots \ H_{i_0}])], \quad (2)$$

где  $[T_{1_0} \ T_{2_0} \ \dots \ T_{i_0}]$  – вектор оптимальной температуры во времени;  $[P_{1_0} \ P_{2_0} \ \dots \ P_{i_0}]$  – вектор оптимального давления во времени;  $[H_{1_0} \ H_{2_0} \ \dots \ H_{i_0}]$  – вектор оптимального уровня жидкости во времени;  $M_{k_0}$  – оптимальная интегральная характеристика, показывающая степень готовности продуктов питания.

Наилучшим из возможных критериев оптимальности процесса термической обработки продуктов питания является минимизация среднеквадратичной ошибки между реальной характеристикой дискретного поля  $M_k$  и оптимальной характеристикой  $M_{k_0}$ . Обязательным условием выполнения критерия оптимальности выступает построение системы замкнутого регулирования каждой из координат в уравнении (1).

Одна из наиболее важных задач при построении замкнутых систем управления – это выбор измерительной аппаратуры [2]. Правильный выбор датчиков позволит обеспечить наилучшие технологические, массогабаритные, а также экономические показатели установки термической обработки продук-

тов питания. Для оценки и сравнения выбранных вариантов использован метод экспертных оценок, основные положения которого изложены в [3]. Наибольшая целесообразность применения датчика из выбранного перечня датчиков такого же типа определялась на основании учета нескольких ключевых параметров, отражающих специфику технологического процесса. Для выбора датчиков руководствовались следующими критериями:

- диапазон измеряемой величины;
- тип выходного сигнала;
- исполнение и способ монтажа датчика;
- помехозащищенность сигнала датчика;
- точность измерений;
- характеристики рабочей среды;
- стоимость.

Для каждой характеристики определялся показатель качества  $q_i$  в диапазоне от 1 до 5. Для детерминирования важности того или иного показателя введен весовой коэффициент  $\lambda_i$ .

Выбор оптимального варианта производим путем определения максимальной взвешенной суммы, которая может быть найдена следующим образом:

$$S_\lambda = \sum_{i=1}^n q_i \lambda_i. \quad (3)$$

Результаты оценки принципиальных решений сводятся в таблицу и графически могут быть представлены на оценочной диаграмме.

Поверхностные и объемные способы тепловой обработки пищевой продукции, наряду с достоинствами, имеют и недостатки, поэтому целесообразно использовать их в производстве общественного питания совместно [4].

Характерной особенностью формирования общей конструкции установки термической обработки продуктов питания является возможность организации различных вариантов постро-

ения индукционных плит. Существующие варианты с различным количеством индукционных плит [5] позволяют образовывать поле нагрева почти любой формы и вида [6].

Для контроля температуры нагреваемых объектов использован датчик температуры. Так как применяемому методу индукционного нагрева сопутствует неравномерность распределения энергии нагрева, то в данной системе необходимо измерение температуры в нескольких точках. Количество датчи-

ков температуры определено исходя из условия достаточности [3] данных для восстановления температурного поля. На начальных этапах проекта выбрано использование тестовой системы в качестве эталонной, т. е. аналог установки термической обработки продуктов питания. В сводной табл. 1 представлены основные показатели применения аналога по сравнению с тестовым экземпляром установки в рамках рассматриваемого вопроса.

Табл. 1. Сводная таблица показателей применения аналога по сравнению с тестовым экземпляром установки

Показатель	Эталонная система	
	Тестовая	Аналог
Трудозатраты	Очень большая	Незначительная
Мощность тестового оборудования	Высокая	Не требуется
Сложность расчета	Незначительная	Незначительная
Точность расчета	Небольшая	Средняя
Необходимость в реальных пользователях	Нет	Да

В качестве аналога выбрана индукционная мультиварка с одним датчиком температуры.

В промышленности используются различные типы датчиков температуры: термометры сопротивления, термопары, термисторы, жидкостные стеклянные термометры, биметаллические термометры, манометрические термометры, радиационные термометры (пирометры, тепловизоры), волоконно-оптические датчики температуры, кварцевые датчики температуры, интегральные датчики температуры.

Для дальнейшего рассмотрения предварительно отобраны температурные датчики: термисторы NTCAFLEX01103HHC и NTCALUG01A103G, цифровые датчики AD595 и ADT6503.

Результаты анализа принципиальных решений сведены в табл. 2 и гра-

фически представлены на оценочной диаграмме (рис. 1). При анализе использованы технические характеристики, изложенные в техническом описании датчиков.

Согласно проведенному анализу, наилучшие значения взвешенной суммы, а значит, и в наибольшей степени соответствие требованиям к технологическому процессу обеспечивает термистор NTCAFLEX01103HHC [7] (рис. 2).

Кроме этого, при построении систем управления температурным полем могут применяться дополнительные измерительные системы. Например, для индукционного нагрева могут использоваться дополнительные контуры тока силовой цепи для каждого из нагревателей, что позволит строить замкнутые системы большей точности и с лучшими показателями качества.

Табл. 2. Сравнительный анализ вариантов построения САУ с различными датчиками температуры

Вариант технического решения	Показатель качества							
	Диапазон измеряемой величины	Тип выходного сигнала	Исполнение и способ монтажа датчика	Помехозащищенность сигнала с датчика	Точность измерений	Характеристика рабочей среды	Стоимость	Взвешенная сумма
1 Термистор NTCAFLEX01103ННС	5	5	5	4	4	5	4	134
2 Термистор NTCALUG01A103G	5	5	4	4	4	4	5	130
3 Цифровой датчик AD595	5	4	3	5	5	3	2	105
4 Цифровой датчик ADT6503	4	4	3	5	5	3	3	101
Весовой коэффициент	5	4	5	3	3	4	5	

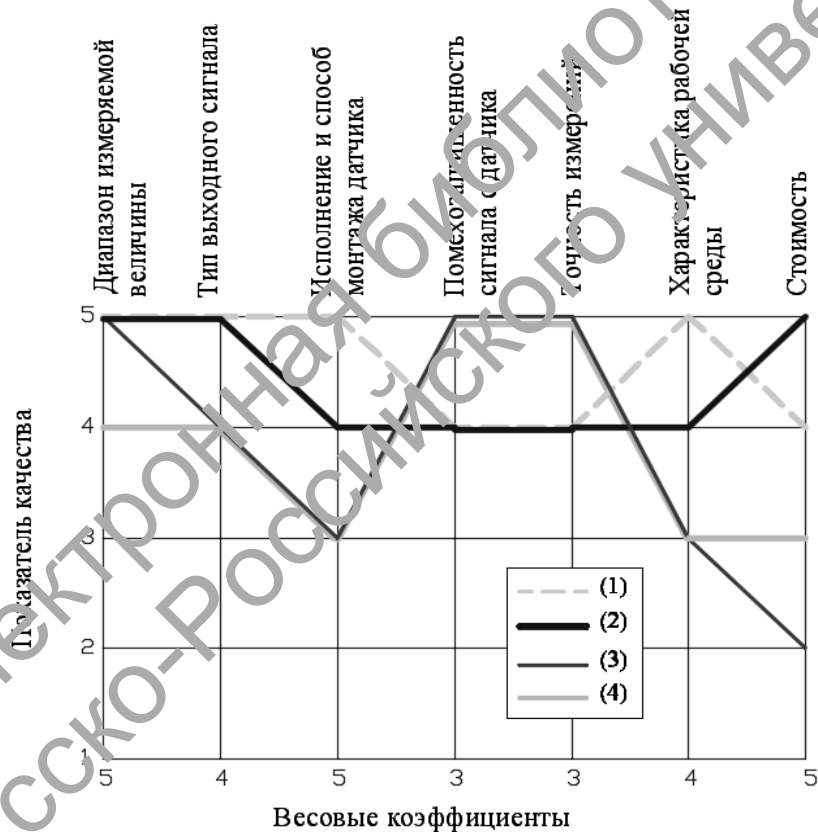


Рис. 1. Радиальная диаграмма датчиков температуры



Рис. 2. Термистор NTCAFLEX01103ННС

Целесообразность применения дополнительных токовых контуров определяется на пересечении экономической и точностной характеристик установок термической обработки продуктов питания. Можно предусмотреть сенсор закипания, преимуществом установки которого является энергоэкономия: при достижении 100 град мощность снижается. В данном случае датчики тока и сенсор закипания не рассматривались.

Построение системы регулирования уровня жидкости представляет определенный интерес. В целом нет необходимости в высокой точности поддержания уровня жидкости. Поэтому наиболее целесообразной системой управления будет система, построенная на дискретном управлении клапана. Клапан должен открываться и закрываться при достижении определенного уровня жидкости в емкости.

Наиболее важен вопрос автономности системы подпитки жидкостью. Она может быть как выносной, т. е. подключаться к системе водоснабжения, так и полностью автономной, т. е. иметь емкость с жидкостью, достаточной для подпитки системы в течение всего рабочего цикла. Независимо от автономности системы подпитки жидкостью необходимо обеспечить контроль температуры жидкости, поступающей в рабочую емкость. Для формирования оптимального процесса приготовления она должна быть как можно ближе к значениям температуры поля нагрева в рабочей емкости. Поэтому

дополнительно необходимо применять датчики температуры, контролирующие состояние жидкости, поступающей в рабочую емкость. Кроме этого, необходимо обеспечить предварительный нагрев этой жидкости.

Задача дискретного поддержания уровня жидкости в статике одномерная, поэтому достаточным будет применение только одного датчика уровня. В промышленности используются различные типы датчиков уровня: поплавковые, вибрационные, емкостные, радиарные, магнитострикционные, ультразвуковые, датчики гидростатического уровня, кондуктометрические, лазерные и др. Актуальными для рассматриваемой системы будут поплавковые, датчики гидростатического уровня, лазерные и емкостные.

Предварительно были отбраны гидростатические датчики уровня врезного и погружного характера: интеллектуальный погружной зонд из нержавеющей стали для измерения уровня LMP 308i, врезной датчик уровня LMK 331, врезной датчик из нержавеющей стали для измерения уровня жидкости LMP 331.

Для оценки и сравнения выбранных вариантов датчиков давления применен метод экспертных оценок.

Результаты анализа принципиальных решений сведены в табл. 3 и графически представлены на оценочной диаграмме (рис. 3). При анализе использованы материалы, изложенные в техническом описании датчиков.

Табл. 3 Сравнительный анализ вариантов построения САУ с различными датчиками уровня

Вариант технического решения	Показатель качества							
	Диапазон измеряемой величины	Тип выходного сигнала	Исполнение и способ монтажа датчика	Помехозащищенность сигнала с датчика	Точность измерений	Характеристика рабочей среды	Стоимость	Взвешенная сумма
1 Погружной зонд LMP 308i	3	5	5	4	5	3	4	132
2 Датчик уровня LMK 331	5	5	4	4	5	5	4	141
3 Датчик уровня LMP 331	5	5	4	4	5	5	4	140
Весовой коэффициент	4	4	5	4	4	5	5	—

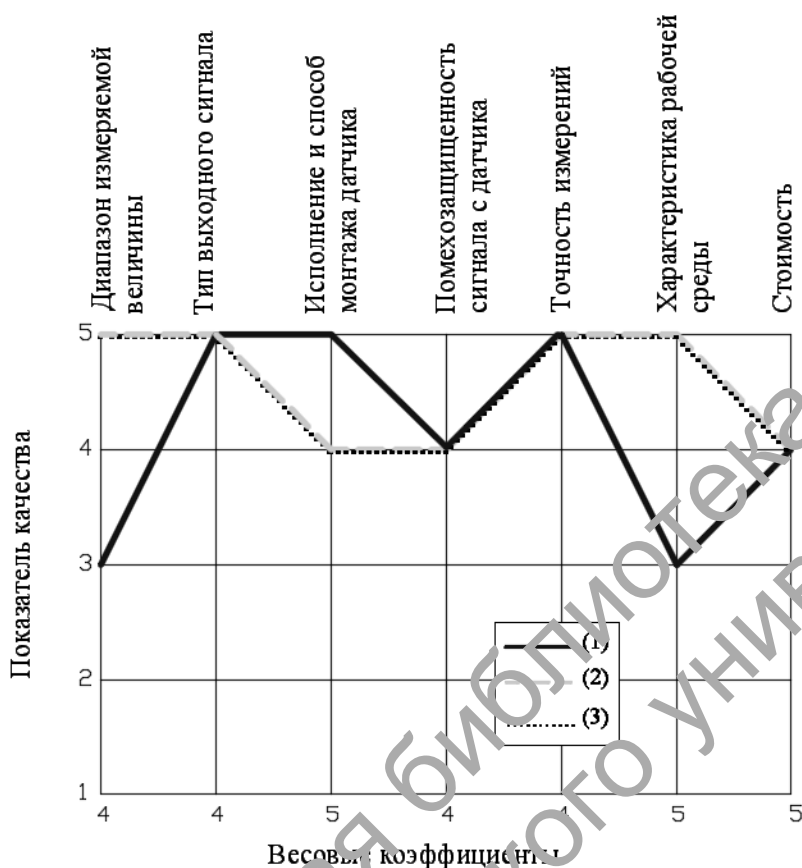


Рис. 3. Оценочная диаграмма датчиков уровня

По результатам сравнения видно, что максимальный суммарный балл

имеет датчик уровня жидкости типа LMK 331 [7] (рис. 4).



Рис. 4. Датчик уровня LMK 331

Таким образом, согласно проведенному анализу, наилучшим образом удовлетворит требования к технологическому процессу врезной датчик уровня из нержавеющей стали для измерения уровня жидкости LMK 331.

Кроме этого, необходимы допол-

нительные датчики, контролирующие ход выполнения процесса, а именно концевые выключатели для клапанов. Эти выключатели проверяют дискретное состояние клапанов: либо полностью открыт (единичное логическое значение), либо полностью закрыт (ну-

левое логическое значение). Для большей надежности может применяться двухклапанная система.

Построение системы управления давлением внутри рабочей емкости также носит дискретный характер. Необходимость управления давлением в основном связана с испарением жидкости и, соответственно, с увеличением концентрации водяного пара в емкости. Основная задача системы замкнутого регулирования давления – исключение возможного максимального значения давления в рабочей емкости. Наиболее целесообразной системой управления будет система, построенная на дискретном управлении клапаном. Клапан должен открываться и закрываться при достижении определенного уровня давления в емкости.

В промышленности используются следующие типы датчиков давления: датчик избыточного давления, датчик перепада давления, датчик абсолютного давления, датчик гидростатического давления, датчик разряжения. В работе рассмотрены датчики абсолютного, избыточного и гидростатического давления. По принципу преобразования давления в электрический сигнал датчики давления реализуются как пьезорезистивные, емкостные, индуктивные, ре-

зонансные, ионизационные, пьезоэлектрические и др. Приемлемым способом реализации датчика давления выбран пьезорезистивный.

Предварительно были отобраны следующие датчики давления: датчик избыточного и абсолютного давления с пьезорезистивным кремниевым сенсором DMP 331i, датчик избыточного и абсолютного давления с пьезорезистивным кремниевым сенсором DMP 331, экономичный датчик избыточного давления с толстопленочным керамическим сенсором DMP 330H.

Для оценки и сравнения выбранных вариантов датчиков давления применен метод экспертных оценок.

Результаты анализа принципиальных решений сведены в табл. 4 и графически представлены на оценочной диаграмме (рис. 5). При анализе были использованы материалы, изложенные в техническом описании датчиков.

Согласно проведенному анализу, наилучшим образом удовлетворит требования к технологическому процессу высокоточный датчик избыточного и абсолютного давления с пьезорезистивным кремниевым сенсором DMP 331 [7] (рис. 6).

Табл. 4. Сравнительный анализ вариантов построения САУ с различными датчиками давления

Вариант технического решения	Показатель качества							
	Диапазон измеряемой величины	Тип выходного сигнала	Исполнение и способ монтажа датчика	Помехозащищенность сигнала с датчика	Точность измерений	Характеристика рабочей среды	Стоимость	Взвешенная сумма
1 Датчик избыточного и абсолютного давления с пьезорезистивным кремниевым сенсором DMP 331i	4	5	4	4	5	4	4	124
2 Датчик избыточного и абсолютного давления с пьезорезистивным кремниевым сенсором DMP 331	5	5	4	4	5	5	4	132
3 Экономичный датчик избыточного давления с толстопленочным керамическим сенсором DMP 330H	4	5	4	4	5	3	5	125
Весовой коэффициент	4	4	5	3	4	4	5	–

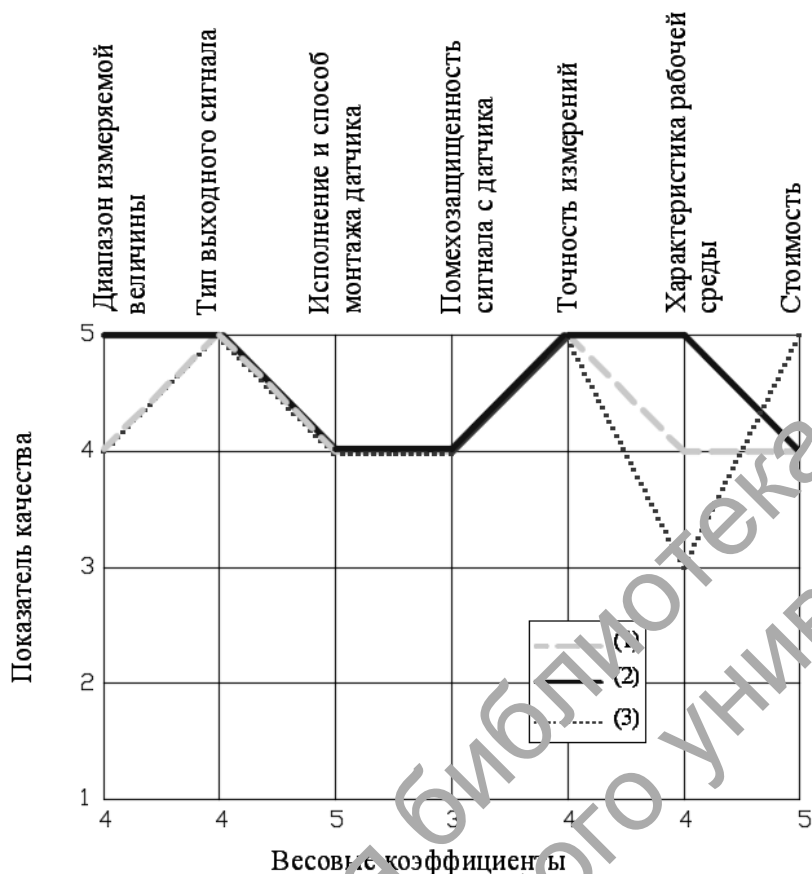


Рис. 5. Оценочная диаграмма датчика давления



Рис. 6. Высокоточный датчик избыточного и абсолютного давления с пьезорезистивным кремниевым сенсором ДМР 331

При решении задачи построения автоматизированной системы интерфейса «рабочая машина – человек» может возникнуть необходимость в применении дополнительных датчиков, таких как датчик присутствия емкости.

В качестве датчика присутствия емкости для рассмотрения выбраны фотоэлектрические датчики перемещения обратного отражения: BOS18M-PS-1RB-E5-C-S4, BOS26K-PA-1LQB-S-4-C, BOS18M-PA-1QB-E5-C.

Для оценки и сравнения выбран-

ных вариантов датчиков присутствия применен метод экспертных оценок.

Результаты анализа принципиальных решений сведены в табл. 5 и графически представлены на оценочной диаграмме (рис. 7). При анализе были использованы материалы, изложенные в техническом описании датчиков.

Согласно проведенному анализу, наилучшим образом удовлетворит требования к технологическому процессу фотоэлектрический датчик BOS26K-PA-1LQB-S-4-C [7] (рис. 8).



Условно принята блок-схема установки термической обработки продук-

тов питания (рис. 9).

Табл. 5. Сравнительный анализ вариантов построения САУ с различными датчиками присутствия

Вариант технического решения	Показатель качества							
	Диапазон измеряемой величины	Тип выходного сигнала	Исполнение и способ монтажа датчика	Помехозащищенность сигнала с датчика	Точность измерений	Характеристика рабочей среды	Стоимость	Взвешенная сумма
1 Фотоэлектрический датчик BOS18M-PS-1RB-E5-C-S4	4	5	5	4	4	4	4	137
2 Фотоэлектрический датчик BOS26K-PA-1LQB-S-4-C	5	5	5	4	5	4	4	147
3 Фотоэлектрический датчик BOS18M-PA-1QB-E5-C	4	4	5	4	5	4	4	141
Весовой коэффициент	5	4	5	4	5	4	5	—

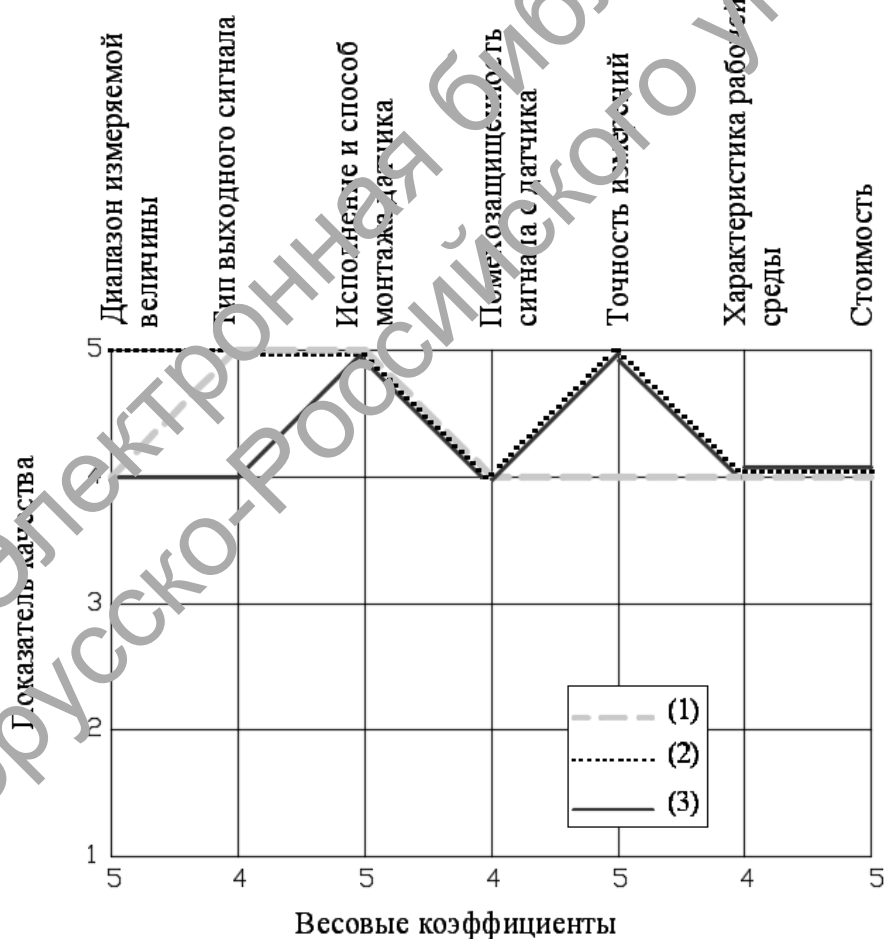


Рис. 7. Оценочная диаграмма датчиков присутствия емкости



Рис. 8. Фотоэлектрический датчик присутствия BOS26K-PA-1LQB-S-4-C

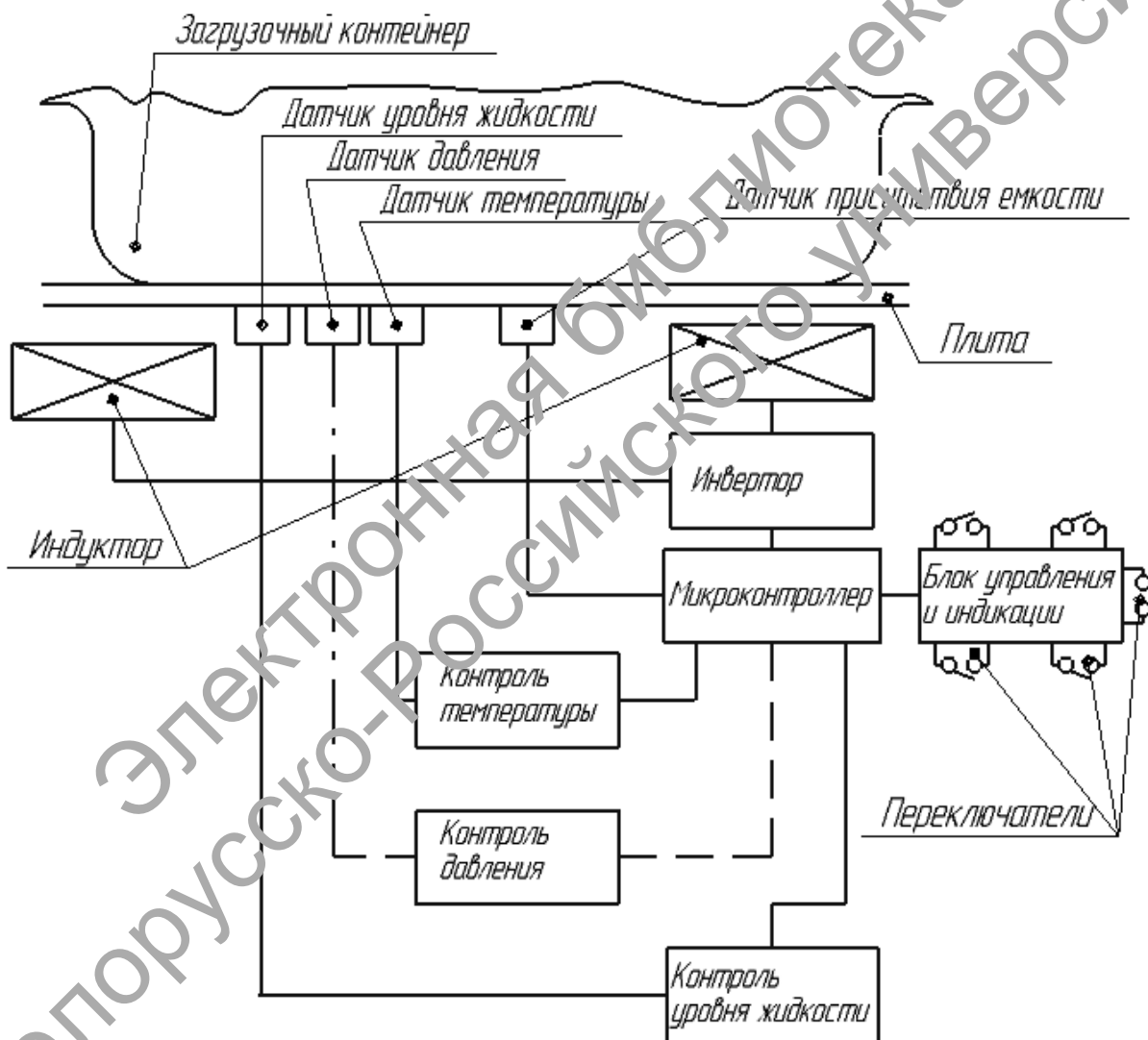


Рис. 9. Условно принятая блок-схема установки термической обработки продуктов питания

На блок-схеме изображен загрузочный контейнер, содержащий воду, расположенный на верхней поверхности

плиты. Нагревательный элемент (индуктор) заключен в корпус, расположенный под нижней поверхностью плиты.

ты. Также имеются датчики присутствия емкости, температуры (термодатчик, контактирующий с нижней поверхностью плиты, или термопара), уровня жидкости, давления. На блоке управления располагаются выключатели, представляющие собой клавиши включения и выключения нагрева, предназначенные для запуска и останова операции нагревания соответственно, переключатель для выставления таймера, а также индикация.

### Выводы

Показан один из возможных вариантов конструктивного исполнения установки термической обработки продуктов питания. Рассмотрен вопрос выбора датчиков в данной системе. Приведены оценочные диаграммы по выбору некоторых датчиков. Представлена условно принятая блок-схема установки термической обработки продуктов питания.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Михеев, М. А.** Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М. : Энергия, 1977. – 344 с. : ил.
2. **Никаноров, С. П.** Введение в концептуальное проектирование АСУ : анализ и синтез структур / С. П. Никаноров, Н. К. Никитина, А. Г. Теслинов. – М. : Концепт, 2007. – 236 с.
3. **Орлов, А. И.** Теория принятия решений : учеб. пособие / А. И. Орлов. – М. : Март, 2004. – 656 с.
4. **Ларькина, Т. С.** Моделирование индукционного нагрева изотермического контейнера / Т. С. Ларькина // Междунар. науч.-исслед. журн. – 2015. – № 7 (38). – С. 67–69.
5. **Ларькина, Т. С.** К вопросу формирования общей конструкции системы индукционного нагрева / Т. С. Ларькина // Новые горизонты : материалы Междунар. конф.-конкурса, Брянск, 19 марта 2014 г. – Брянск, 2014. – С. 13–14.
6. **Ларькина, Т. С.** Анализ концепции создания мобильных установок для тепловой обработки продуктов питания / Т. С. Ларькина // 50-я студ. науч.-техн. конф. Белорус.-Рос. ун-та, Могилев, 22 мая 2014 г. – Могилев, 2014. – С. 116.
7. Техническое описание электронных компонентов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [www.datasheetscatalog.com](http://www.datasheetscatalog.com). – Дата доступа : 22.09.2016.

Статья сдана в редакцию 15 сентября 2016 года

**Татьяна Сергеевна Ларькина**, ассистент, Белорусско-Российский университет. E-mail: [tanushka\\_zzz@mail.ru](mailto:tanushka_zzz@mail.ru)

**Геннадий Сергеевич Ленеvский**, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет. E-mail: [emos@rambler.ru](mailto:emos@rambler.ru)

**Tatiana Sergeyevna Larkina**, assistant lecturer, Belarusian-Russian University. E-mail: [tanushka\\_zzz@mail.ru](mailto:tanushka_zzz@mail.ru)  
**Gennady Sergeyevich Lenevsky**, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University. E-mail: [emos@rambler.ru](mailto:emos@rambler.ru)