

АНАЛИЗ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ СИСТЕМ ТЕРМОМЕТРИИ ЗЕРНА

Д.Г. Поляков (ООО ПК "Модуль")

В настоящее время системы термометрии широко используются для контроля процессов самосогревания растительного сырья при хранении, что способствует сохранению его качества. В новых разработках, наряду с традиционными термометрами сопротивления, применяются полупроводниковые измерительные преобразователи, выдающие измеренное значение температуры в виде цифрового кода, используется мощная вычислительная техника с соответствующим ПО, что позволило значительно улучшить качество работы систем термометрии. В предлагаемой работе проведен критический анализ одного из фундаментальных трудов в области термометрии зерна, отмечены недостатки существующих систем и обозначены направления исследований, нацеленных на повышение достоверности функционирования систем термометрии.

Ключевые слова: термометрия сыпучих растительных материалов; самосогревание зерна; термоподвеска; пространственное расположение датчиков температуры; хранение зерна.

Известно, что влажность является одним из основных параметров, влияющих на срок и качество хранения растительного сырья [1]. Однако в настоящее время из-за огромных затрат невозможно осуществить контроль влажностных полей в хранимом сырье. К тому же при длительном хранении вероятно развитие процессов самосогревания, когда температура в хранилище значительно повышается и происходит необратимое ухудшение качества. На рис. 1 в координатах "влажность-температура" показаны границы безопасного хранения зерна (temix.com.ua). Как показывает опыт, влажность греющегося сырья изменяется весьма незначительно, эти изменения соответствуют погрешности влагомеров. Следовательно, контроль качества хранимого сырья целесообразно вести по его температуре, как наиболее достоверному и информативному параметру [2].

Самосогревание повсеместно наблюдается в практике хранения зерна, поэтому хорошо изучено как в нашей стране, так и за рубежом. Установлены источники образования тепла в зерновой массе, характер развития и виды процесса самосогревания, влияние его на качество зерна и зернопродуктов, способы борьбы с самосогреванием. Виды самосогревания и основные причины его возникновения приведены в [3].

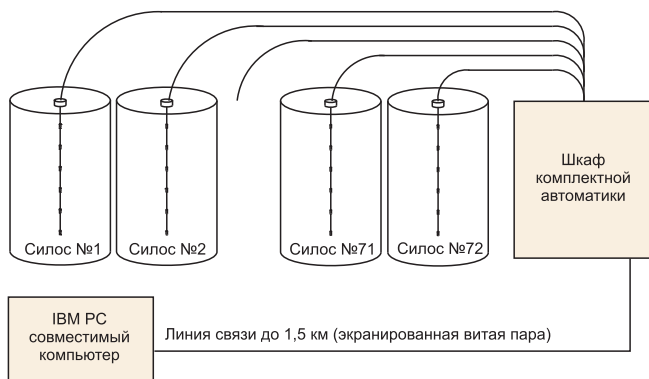


Рис. 2. Пространственная организация систем термометрии

В настоящее время основные усилия разработчиков нацелены на модернизацию устаревших систем с сохранением традиционного пространственного расположения датчиков без какой-либо физико-математической проработки (рис. 2). В новых разработках, наряду с термометрами сопротивления, применяются полупроводниковые измерительные преобразователи, выдающие измеренное значение температуры в виде цифрового кода, используется мощная вычислительная техника с соответствующим ПО. Головной модуль термоподвески монтируется в загрузочном

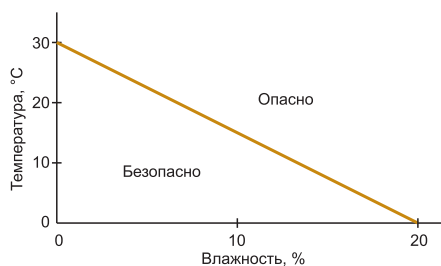


Рис. 1. Характеристики режима хранения зерна

отверстии, измерительные датчики располагаются по центральной оси силосной башни. Применение указанных программно-аппаратных средств позволило значительно увеличить эффективность систем термометрии. Однако анализ существующих систем, опыт их практической эксплуатации вызвал новые вопросы и пожелания, которые по

тем или иным причинам не были реализованы в системах термометрии предыдущих поколений. В частности, актуальным является вопрос о коррекции алгоритмов анализа показаний датчиков в зависимости от изменения температуры внешней среды. В научных изданиях обсуждается вопрос увеличения числа термодатчиков в системе с целью увеличения контролируемого объема хранилища [5].

Группой компаний "ТЕКОН" разработана и активно внедряется автоматическая система прогнозирования самосогревания зерна (АСПС, АСПС-Ц), предназначенная для контроля температуры зерна в силосах элеватора и в напольных зернохранилищах. АСПС позволяет производить измерение и формировать архив значений температуры зерна с АРМ оператора (ПК). При этом температура измеряется по всей высоте силоса с разрешающей способностью 0,05°C, появляется возможность получить динамику развития температуры и зафиксировать начальную фазу развития температурного процесса.

АСПС предназначена для модернизации систем термометрии предыдущего поколения (ДКТ-4МГ,

МАРС-1500, М5 и аналогичных систем) и разработана так, чтобы максимально упростить модернизацию систем, ранее установленных на элеваторе. При этом используются имеющиеся аналоговые термоподвески, обработка полученных данных осуществляется с помощью современной вычислительной техники.

Система АСПС-Ц построена на базе термоподвесок ТКМ13 с монолитными полупроводниковыми измерителями температуры DS18B20 Dallas Semiconductor (www.tecon.ru).

Как показывает многолетний опыт, при работе системы термометрии с релейной коммутацией каналов приходится перепроверять сомнительные силосы при помощи переносных измерительных приборов и проводить неэффективные профилактические перекачки зерна из силоса в силос с неоправданными энергозатратами на многочасовую работу многокиловаттных приводов норий, транспортеров, аспирации и всего сопутствующего оборудования. Известны ситуации, когда по показаниям системы термоконтроля за все время хранения температура в силосе $\leq 15^\circ\text{C}$, но содержание клейковины после хранения резко уменьшалось. Сотни тонн зерна браковались, хотя по отчетам температурный режим хранения соблюдался, и разовые убытки перекрывали все доходы сезона.

По этой же причине предлагаемые на рынке варианты модернизированных систем термометрии, использующих существующую релейную коммутацию, сохраняют и прежние проблемы, несмотря на наличие современной элементной базы, компьютеров и совершенного ПО. Кроме того, опрос терморезисторов в подобных системах производится путем поочередного измерения сопротивления в каждом силосе и последовательно во всех силосных корпусах, что не позволяет уменьшить общее время измерения (www.centa.ru).

Анализ литературных источников, посвященных вопросам хранения зерна и других сыпучих растительных материалов, показал, что практически все авторы ссылаются на исследования [2], претендующие на фундаментальный характер. Особенностью этого труда является аналитическое рассмотрение теплового режима греющегося зернового слоя, окруженного зерновой насыпью. Путем введения определенных упрощений удалось свести эту задачу к известной — рассмотрению теплового режима греющейся бесконечной пластины, помещенной в бесконечную теплопроводную среду, и воспользоваться имеющимся решением, полученным еще А.В. Лыковым [4]. При таком подходе для обеспечения хорошей сходимости опытных и расчетных данных необходимо точно знать геометрические размеры и теплофизические характеристики греющейся области и окружающего зернового массива. Поэтому для производственной проверки предложенной аналитической модели был смоделирован процесс самосогревания, когда в хранилище искусственно была создана тонкая прослойка зерна с повышенной влажностью, окруженная су-

хим зерном. Опытные данные при этом удовлетворительно совпали с расчетными [2].

Однако внимательное рассмотрение реальных статистических данных как приведенных в [2], так и полученных при работе действующих систем термометрии, показывает, что характеристики реальных нагреваемых областей отличаются от рассматриваемых в математической модели. Кроме того, оказывается, что при ее упрощении не учтены некоторые важные моменты и сделаны вследствие этого ошибочные выводы. Рассмотрим вышесказанное подробнее.

1. Как показывает опыт, самосогревание возникает в произвольных местах объема хранилища, нагреваемая область может иметь произвольные размеры, сопоставимые с размерами хранилища. Следовательно, в общем случае нельзя моделировать реальные процессы самосогревания так, как это сделано в [2].

2. Темп роста температуры в каждом конкретном случае может быть самым различным. В предложенной математической модели в результате ее упрощения не рассматриваются колебания температуры окружающей среды и их влияние на колебания температуры зерна в точках измерения. В частности, в реальных случаях самосогревания значительно отличается темп роста температуры греющегося сырья в условиях продолжительного повышения и понижения температуры окружающего воздуха. В [2] отсутствуют теоретически обоснованные рекомендации по анализу изменений температуры в точках контроля. Следует отметить, что исследователями этого вопроса отмечена необходимость учета температуры окружающей среды, однако до сих пор никем не предложен алгоритм, учитывающий влияние колебаний температуры наружного воздуха на температуру в точках контроля.

3. В хранилище, как правило, засыпается зерно одинакового качества, что практически исключает возможность возникновения смоделированной ситуации при засыпке отдельных партий. В [2] допускается, что границы очага самосогревания и его положение стационарны, очагом является тонкая прослойка зерна с повышенной влажностью. Окружающее эту прослойку сухое зерно в процесс самосогревания не вовлекается. В реальных случаях границы очага нестационарны, очаг в однородной среде имеет тенденцию к расширению и перемещению вверх.

4. На основании проведенного моделирования утверждается, что температурное поле развивается одинаково во всей греющейся области [2]. Строго говоря, это утверждение справедливо только для смоделированной ситуации в местах расположения термодатчиков и не может быть распространено на все случаи самосогревания.

5. Для адекватного расчета процесса самосогревания необходимо, чтобы греющаяся область соответствовала модели [2], и были известны все параметры температурных и влажностных полей, интенсивности тепловыделения и теплофизические характеристики

в произвольных точках объема. В реальных условиях хранения получение этой информации невозможно.

6. При определении радиуса чувствительности термодатчиков использованы абсолютная погрешность существующих систем термометрии и величина температурного фона. Известно, что при анализе динамики изменения температуры в точках контроля главную роль играет чувствительность системы, то есть минимальная величина изменения температуры, которая может быть достоверно зафиксирована системой. Кроме того, температурный фон при выводе модели самосогревания и расчетах принят постоянным для всей зерновой насыпи и не должен учитываться дополнительно. Следовательно, в [2] неправильно определен радиус чувствительности и даны неправильные рекомендации по выбору шага расстановки термодатчиков в составе термоподвески и числа термоподвесок в силосе.

В реальных условиях хранения температура окружающей среды изменяется с течением времени, и эти изменения оказывают существенное влияние на показания датчиков температуры зерна. Оказывается, что характер развития процессов самосогревания различен в режимах нагрева и охлаждения хранимой зерновой массы. В существующих системах термометрии в качестве критерия начала процесса самосогревания используется условие, что в течение трех суток подряд темп роста температуры превышает $0,3...0,4^{\circ}\text{C}/\text{сут}$ вне зависимости от характера изменения температуры окружающей среды [3]. Поэтому львиная доля возникающих процессов самосогревания оказывается вне поля зрения системы, или же эти процессы обнаруживаются с опозданием. Кроме того, иногда наблюдаются случаи ложного срабатывания систем термометрии.

Исходя из вышесказанного, очевидно, что аналитически рассматривать процессы самосогревания в областях с фиксированными пространственными характеристиками нецелесообразно. Задачу контроля температуры хранимого сырья необходимо решать "от противного", а именно: аналитически рассматривать температурный режим хранимого сырья при отсутствии процессов самосогревания, для идентификации возможных процессов самосогревания необходимо анализировать возникающие отклонения от нормального режима. Кроме того, отдельного внимания заслуживает вопрос обоснования числа и пространственного расположения датчиков температуры в объеме хранимого материала. На-

Поляков Дмитрий Геннадиевич – инженер-конструктор ООО ПК "Модуль", группа компаний ТЕКОН.

Контактный телефон (4752) 57-73-20. E-mail: PolyakovDmitr@Rambler.ru

более актуальной при эксплуатации существующих систем термометрии является задача анализа показаний датчиков при изменениях температуры внешней среды, ее решение позволит значительно улучшить качество хранения растительного сырья.

Следовательно, основные причины неудовлетворительной работы существующих систем термометрии таковы:

1. Отсутствует адекватное теоретическое обоснование работы систем термометрии;

2. Применяется устаревшая (с 50-х годов XX века) схема размещения термодатчиков при модернизации действующих и разработке новых систем термометрии с использованием современной элементной базы и ПО.

Для улучшения качества хранения сыпучих растительных материалов предлагается:

1. Во вновь разрабатываемых системах термометрии наряду с традиционным расположением измерителей температуры по оси силоса добавить измерители для контроля температуры оболочки и проводить корреляционный анализ показаний датчиков термоподвески с температурой оболочки хранилища, на основании которого можно сделать достоверный вывод о развитии температурного процесса. Разработать физическую модель процесса теплопереноса между термоподвеской и оболочкой, по которой осуществлять прогнозирование изменения температуры в точках контроля в зависимости от температуры оболочки;

2. В существующих системах термометрии проводить корреляционный анализ показаний датчиков термоподвески с температурой окружающей среды. На основании результатов этого анализа, а также динамики изменения температуры в точках контроля делать вывод о развитии температурного процесса.

Список литературы

1. *Секанов Ю.П.* Влагометрия сыпучих и волокнистых растительных материалов. М.: ВИМ, 2001.
2. *Сергунов В.С.* Дистанционный контроль температуры зерна при хранении. М.: Агропромиздат. 1987.
3. *Технология хранения зерна: Уч. для вузов / Под ред. Е.М. Вобликова.* СПб.: Лань. 2003.
4. *Лыков А.В.* Теория теплопроводности. М.: "Высшая школа", 1967.
5. *Дегтярев А.Г., Киселев Г.С.* Совершенствование системы термомониторинга растительного сырья в хранилищах // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2003. №1.

Оформить подписку на журнал "Автоматизация в промышленности" вы можете:

- **в России** – в любом почтовом отделении по каталогу "Газеты. Журналы" агентства "Роспечать" (подписной индекс **81874**) или по каталогу "Пресса России" (подписной индекс **39206**).
- **в странах СНГ и дальнего зарубежья** – напрямую или через подписные агентства-партнеры ЗАО "МК-Периодика". Информация о журнале имеется также на сайте ЗАО "МК-Периодика" – www.periodicals.ru

Все желающие, вне зависимости от места расположения, могут оформить подписку, начиная с любого номера, прислав заявку в редакцию или заполнив анкету на сайте www.avtprom.ru
В редакции также имеются экземпляры журналов за прошлые годы.