

Л и т е р а т у р а

1. Свет Д. Я. Оптические методы измерения истинных температур. М.: Наука, 1982. С. 250—253.

2. Фрунзе А. А., Фрунзе А. В. Определение температуры объекта с неизвестной излучательной способностью по пяти измеренным яркостным температурам // Измерительная техника. 2012. № 12. С.36—39; Frunze A. A., Frunze A. V. Determination of the temperature of an object with unknown emissivity using five measured brightness temperatures // Measurement Techniques. 2012. V. 55. N 12. P. 1396—1400.

3. Герашенко О. А. и др. Температурные измерения: Справ. пособие. Киев: Наукова Думка, 1984.

4. Кондратьев Г. М. Тепловые измерения. М.-Л.: ГНТИ, 1957.

5. Хэворд Генри Л. Инфракрасное излучение / Пер. с англ. М.-Л.: Энергия, 1964.

6. Андришин С. Я. и др. Состояние разработок микроболюметрических матриц в Государственном научном центре РФ «НПО «Орион» // Прикладная физика. 2000. № 5. С. 5—17.

7. Тарасов В. В., Якушенков Ю. Г. Современные проблемы инфракрасной техники. М.: Изд-во МИИГАиК, 2011.

8. Дульнев Г. Н., Походун А. И., Ходунков В. П. Теплофизический анализ качества инфракрасных изображений удаленных слабоконтрастных объектов // Измерительная техника. 2013. № 3. С. 28—32; Dul'nev G. N., Pokhodun A. I., Khodunkov V. P. A thermal analysis of the quality of infrared images of distant low-contrast objects // Measurement Techniques. 2013. V. 56. N 3. P. 289—296.

9. ГОСТ Р 8.619—2006. ГСИ. Приборы тепловизионные измерительные. Методика поверки.

10. Дульнев Г. Н. Тепло-массообмен в радиоэлектронной аппаратуре. М.: Высшая школа, 1984.

11. Кондратьев Г. М. и др. Прикладная физика. Теплообмен в приборостроении. СПб.: Изд-во СПб ГУИТМО, 2003.

Дата принятия 22.08.2013 г.

536.51.083

Разработка и опыт применения серии датчиков Celsius для контроля температуры рабочего тела в системе управления процессами сушки керамических изделий

А. А. СИНИЦЫН*, Д. А. БЕЛЯНСКИЙ**

* Вологодский государственный технический университет, Вологда, Россия
e-mail: nee-energo@yandex.ru

** ООО «Энергоэксперт», Вологда, Россия, e-mail: dimcherch@inbox.ru

Проанализированы различные устройства для измерения температуры в кирпичах-сырцах и предложен способ организации оптимального управления процессом сушки керамического кирпича для снижения энергетических затрат промышленного предприятия посредством новых термодатчиков Celsius. Показано, что устройство универсально и будет эффективно для нужд предприятий, для которых контроль термодинамических параметров — основа технологического процесса.

Ключевые слова: аналого-цифровое устройство, датчик температуры, керамические изделия, сушильная печь.

The different devices for temperature measurement in raw bricks are analyzed and the method of organization of optimal control of ceramic brick drying process to reduce the industrial enterprise energy consumption by means of the new Celsius thermal sensors is suggested. It is shown that the the device is universal and will be effective for enterprises where the thermodynamic parameters control is a basis of technological process.

Key words: analog-digital device, temperature sensor, ceramics, seasoning kiln.

Развитие строительной индустрии неразрывно связано с увеличением спроса на продукцию строительных материалов на рынке, при этом требования к качеству изделий постоянно возрастают. Стремление руководителей модернизировать действующие производства способствует развитию здоровой конкуренции среди производителей. Чтобы повысить конкурентоспособность продукции на рынке, нужно автоматизировать длительные и энергоемкие технологические процессы для снижения себестоимости изделия. Од-

ним из таких технологических процессов является сушка керамического кирпича (КК). Каждый вид продукции характеризуется различными габаритными размерами и пустотностью, достигающей 55 %, следовательно, процесс удаления влаги из кирпича-сырца будет носить индивидуальный характер.

При проведении сушки изделий необходимо учитывать климатические условия добычи и предварительной обработки исходного сырья, а также его физико-химические свой-

ства. Технологический процесс сушки керамического кирпича приходится проводить в широком диапазоне изменения входных параметров, таких как температура, скорость подачи воздуха и время. Только на деле регламент сушки изделий на предприятиях остается неизменным и количество бракованных изделий может достигать до 30 % общего объема выпуска.

Таким образом, проблема организации оптимального управления процессом сушки КК является весьма актуальной. Для этого необходимо знать, как меняется температура и влажность изделия в течение всего технологического процесса сушки. Однако ограниченность пространства в сушильной печи не позволяет осуществлять какие-либо измерения при помощи датчиков.

Для решения поставленной задачи сотрудниками кафедры «Теплогоснабжение и вентиляция» Вологодского государственного технического университета был выполнен комплекс работ по выбору схемы измерений температуры в некоторых локальных точках заготовки из кирпича-сырца, разработке системы измерения температуры и внедрению ее на промышленном предприятии. Был проведен анализ рынка измерительной техники для мониторинга температуры, а также патентов на автономные измерительные устройства. Среди предприятий, изготавливающих подобные системы, можно выделить Rotronic, TermoChron Revisor и Dallas Semiconductor. Впрочем, их системы измерения термодинамических параметров рабочих тел весьма затратны для массового использования и имеют сложности при мониторинге технологических процессов внутри объекта наблюдения в огнетехнических условиях.

При помощи техники предыдущего поколения для автономного сбора экспериментальных данных был рассмотрен простейший прибор [1] для непрерывного измерения и регистрации температуры наружной поверхности труб, состоящий из основания, корпуса с крышкой, кабельного вывода и чувствительного элемента, выполненного из сердечника с проволочным терморезистором. Показания температуры последовательно, через равные промежутки времени записывались в компьютер, что в условиях промышленного производства окружающей среды трудно выполнимо из-за высоких температур и ограниченности пространства, при этом система измерения обладает низким уровнем надежности и долговечности.

Также было проанализировано устройство [2], содержащее датчики для контроля температуры кирпича-сырца и окружающей среды, которые соединены с аналого-цифровым устройством, в свою очередь связанным с блоком перепрограммирования. Недостаток указанного прибора — необходимость предварительных математических вычислений при перемещении данного устройства с одного производства на другое либо при замене чувствительного элемента, а также в применении термоэлектрических преобразователей, требующих обязательной предварительной калибровки перед эксплуатацией в различных температурных условиях.

Таким образом, была поставлена задача по разработке системы измерения температуры рабочего тела и методики

определения эффективности сушки по температурно-влажностным характеристикам кирпича. Разработанное устройство Celsius предназначено для расширения парка технических средств в данной области. Данный прибор удобнее в использовании в случае его фиксации на объекте измерения посредством резьбового или магнитного соединения. Корпус устройства заполнен теплоизоляционным материалом, позволяющим выдерживать большие тепловые нагрузки на электронные части прибора в диапазоне температур $-55 \dots +125$ °С. Все комплектующие элементы располагаются внутри корпуса устройства, а элементы, не защищенные от механических и тепловых повреждений, отсутствуют. В качестве чувствительного элемента использован цифровой датчик температуры. Устройство может быть установлено на исследуемый объект при помощи резьбового соединения, магнитного крепления, либо может применяться для измерения температуры на требуемой глубине, так как имеет выносной первичный измерительный преобразователь. Указанный комплекс мер обеспечивает высокую надежность работы устройства, расширяет область применения, повышает удобство его использования и точность измерения температур.

Устройство измерения температуры — самодостаточная система, которая после задания ей установочных значений посредством микроконтроллера измеряет температуру и записывает результаты в защищенную секцию встроенной Flash-памяти данных. Запись проводится с определяемой пользователем скоростью при использовании программируемого таймера. Данные сохраняются в ячейках памяти буфера в виде последовательных значений температуры с интервалом 1—255 мин через равные промежутки времени. Прибор имеет уникальный 64-разрядный регистрационный идентификационный номер. Среда измерений представляет газ, жидкость или твердое тело. Информацию о температуре можно перенести с Flash-памяти на персональный компьютер для дальнейшей их обработки.

При определении температуры используется контактный метод измерений. В устройстве Celsius для этой цели служит цифровой термометр DS18B20. Данные от него поступают по 1-Wire шине, при этом термометр может быть как единственным устройством на линии, так и работать в группе. Все процессы на шине управляются центральным микропроцессором. Основной функциональный элемент указанного термометра — температурный преобразователь (ТП). Разрешающая способность ТП может быть изменена пользователем и составляет 9—12 бит, соответствуя приращениям (дискретности измерения температуры) 0,5; 0,25; 0,125; 0,0625 °С, соответственно. Разрешающая способность по температуре в устройстве Celsius установлена 12 бит (0,0625 °С).

Рассмотрим конкретный случай — организацию оптимального управления процессом сушки КК. Устройство встраивается в опытный образец кирпича. Основной задачей такой автономной системы является запись функции температуры внутри кирпича-сырца за период времени прохождения образца через туннельные сушилки (рисунок, а). Результаты, полученные из Flash-памяти прибора, обрабатываются с использованием стандартных приложений Microsoft Office.

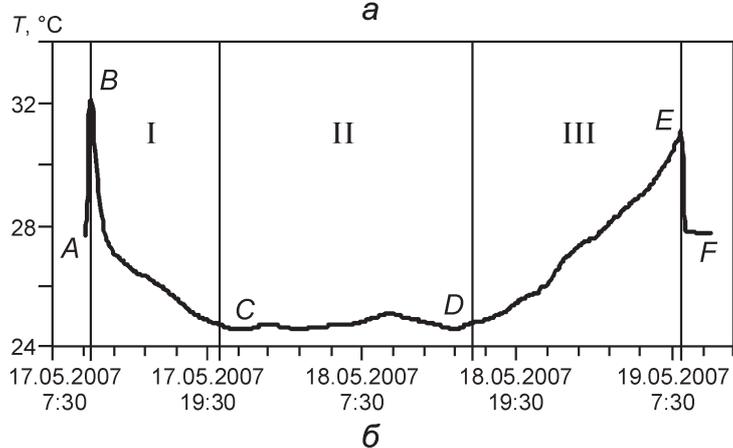
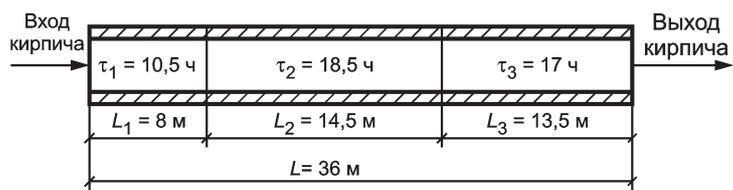


Схема зон обжиговой печи (а) и диаграмма измерения температуры при сушке кирпича-сырца (б)

В туннельной печи осуществляется конвективная сушка кирпича-сырца горячим воздухом, который движется навстречу вагонетке.

Проведены испытания кирпича красного, полнотелого 250Ч120 Ч65 с формовочной влажностью 21 %. Сырьем для производства обыкновенного глиняного кирпича служит суглинок средний, пылевой коричневого цвета, добываемый в карьере. При сушке изделия всегда стремятся создать оптимальный режим, при котором получают качественные изделия без трещин в минимальные сроки и при меньших затратах тепла и электроэнергии. Такой режим можно устанавливать экспериментально, выбирая наиболее эффективный. Главный недостаток сушилок состоит в неравномерном просушивании кирпича-сырца как по длине, так и по сечению камер. Это увеличивает сроки сушки, повышает удельный расход тепла и потери от брака. С точки зрения снижения риска трещинообразования, поддерживается температура сушильного агента 60 °С, относительная влажность 15 % и скорость движения 0,35 м/с. В таких условиях сырец высыхает до критической влажности за 46 ч. Для исследования оптимального режима температурно-влажностных параметров в печи датчик температуры располагают в центре сырца. Опыты показали, что место его размещения может повлиять на температурные показания в сторону ускорения достижения сухого состояния.

Сушка влажных материалов — это не только теплотехнический процесс, связанный с тепло-, массообменом и видами связи влаги с материалом, но и технологический, учитывающий поведение материала в процессе сушки. Сопоставим экспериментальные данные по изменению температурно-влажностных параметров кирпича с технологией уда-

ления влаги в подобных устройствах и сделаем выводы о периодах сушки [3, 4]. По графику (рисунок, б) сделаны следующие выводы.

На участке *AB* фиксируется рост температуры кирпича-сырца; участок *BCDE* — изменение температуры после загрузки заготовки в сушильную камеру; *EF* — остывание кирпича до температуры наружного воздуха. По данным опыта можно сказать, что температура внутри заготовки понижается на участке *CD* в связи с затратами энергии подводимой теплоты на испарение влаги. После того, как кирпич полностью высушен, его температура повышается (участок *DE*).

Следует отметить, что на момент проведения исследований на предприятии ОАО «Соколстром» технический уровень тепловых агрегатов был относительно низким. Они являлись слабым звеном в системе качества продукции и производительности. Обследование сушилок предприятия показало, что распределение теплоносителя по туннелям беспорядочно: количество теплоносителя, поступающего в отдельные туннели, различается иногда в 2—3 раза. Этот конструктивный недостаток не позволяет обеспечивать стабильное качество сушки сырца за исключением тех редких случаев, когда сырье совершенно нечувствительно к сушке. Однако производительность сушилки и ее экономические показатели снижаются в любом случае.

Исследования режимов сушки сырца в нескольких сушилках с верхней подачей теплоносителя в рабочее пространство показали, что за первые 24 ч сушки количество удаленной влаги из сырца, расположенного на верхней полке, в 3,5 раза выше, чем у сырца, сохнувшего на нижней полке, т. е. по остаточной влажности кирпичи, расположенные на разных полках, отстают друг от друга по степени влажности практически на сутки. Этот фактор определяет не только качество сушки, но и производительность сушилки.

На основании изложенного предложен проект реконструкции и наладки аэродинамического режима в туннельных сушилах. Это создало условия для устранения возможного брака вследствие появления трещин, а также установления рационального режима сушки.

Проведены опытно-промышленные испытания на кирпичном заводе, которые показали эффективность экспериментальной наладки режима работы печей. Устранение указанных недостатков обеспечило равномерную усадку изделий, что позволило повысить производительность на 11 %, снизить энергопотребление на 13 % и уменьшить долю брака в изделиях на 80 %.

Выводы. Разработана система измерения температуры рабочего тела и методика определения эффективности сушки по измерению температурно-влажностных характеристик кирпича-сырца в течение всего технологического процесса для предприятия ОАО «Соколстром».

Проведя анализ существующих научно-технических разработок и оценку конкурентоспособности продукта, можно выделить наиболее известные устройства зарубежных компаний: Rotronic (Швейцария) и iButton (США) (см. таблицу).

Сравнительный анализ технических характеристик приборов

Параметр	Rotronic	iButton	Celsius
Объем, см ³	59	1,5	20
Количество контрольных точек	1—2	1	1—32
Способ соединения с ПК	USB-интерфейс для настройки и передачи данных	Считывание данных из прибора осуществляется при помощи специализированного устройства и программного обеспечения	1. USB-интерфейс для настройки и передачи данных; 2. Bluetooth-соединение
Диапазоны измерений, °C	–25 ... +80	–55 ... +125	–55 ... +125
Защита от пыли, влаги и динамического воздействия	Корпус выполнен из пластмассы	Корпус устойчив к вибрациям, ударам и другим механическим воздействиям	Корпус устойчив к вибрациям, ударам и другим механическим воздействиям
Цена за шт., руб.	2500—3000	600—750 — датчик, 15000 — специализированное устройство считывания информации и программного обеспечения	От 5000 (в зависимости от количества контрольных точек и способа соединения с ПК цена может быть увеличена)

Сравнительный анализ показал преимущества измерительного комплекса Celsius над существующими аналогами по нескольким критериям: количество контрольных точек может достигать 32 по температуре и влажности одновременно. В производстве, где доступ к датчику весьма затруднен, есть возможность дистанционного сбора информации через Bluetooth-соединение и управление устройством. Корпус устройства можно выполнить из легированной или нержавеющей стали, и он способен выдерживать высокие нагрузки.

Запатентованный измерительный комплекс Celsius на основе разработанных датчиков температуры и автоматизированной системы контроля [5] может применяться в различных областях науки и производства, где ограниченность пространства не позволяет осуществлять измерения при помощи датчиков, непосредственно связанных с компьютером, и там, где присутствие человека невозможно в течение какого-то времени.

Работа выполнена при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (государственный контракт № 10236), а также в рам-

ках государственного научного гранта Вологодской области № 107 от 17.08.2011 г.

Л и т е р а т у р а

1. Пат. 2215271 РФ. Датчик температуры с чувствительным элементом / А. Г. Царенко // Изобретения. Полезные модели. 2003. № 23.
2. Пат. 2405131 РФ. Устройство измерения разности температур с терморезистивными датчиками / С. Д. Леонов, А. А. Максимчук, Ю. В. Троицкий // Изобретения. Полезные модели. 2004. № 33.
3. Лыков А. В. Теория сушки. М.: Энергия, 1968.
4. Архипов И. И., Белопольский М. С., Белостоцкая Н. С. Строительная керамика: Справочник / Под ред. Е. Л. Рохваргер. М.: Стройиздат, 1976.
5. Пат. 119877 РФ. Устройство для контроля температуры рабочего тела / Д. А. Белянский, А. А. Синицын // Изобретения. Полезные модели. 2012. № 24.

Дата принятия 18.09.2013 г.

