

Е.Н. ГНЕЗДОВ, канд. техн. наук, Ивановский государственный энергетический университет;  
Ю.И. МАРЧЕНКО, генеральный директор, Е.А. ПЕРЕЖИГИН, зам. директора, Норский  
керамический завод (Ярославль)

## Разработка и внедрение измерительно-регистрающего комплекса для мониторинга процесса сушки керамических изделий

В настоящее время существует необходимость в автономных регистрирующих комплексах приборов для мониторинга процессов низкотемпературной термовлажностной обработки материалов производственного назначения.

Целью исследования была разработка и внедрение автономного измерительно-регистрающего комплекса датчиков и приборов «Март» нового поколения для мониторинга процесса сушки керамических изделий по важнейшим параметрам (включая усадку) одновременно во многих точках по объему садки.

Приборные комплексы нового поколения должны обеспечить детальную информацию, то есть получить пространственно-временное поле для основных параметров сушки.

Сушка керамических изделий может проходить в различных условиях и разнообразными способами [1—3]. Поэтому требования к комплексу датчиков и приборов будут зависеть от конструкции сушильного агрегата и режима сушки. Работы проводили на сушилке туннельного типа, которая конструктивно состоит из двух каналов, разделенных промежуточной стенкой.

В первом туннеле расположены параллельно два рельсовых пути для продвижения вагонеток, во втором туннеле находятся рельсовые пути для одного ряда вагонеток и, кроме того, есть рельсовые пути для возвратно-поступательного движения рециркуляционных вентиляторов вдоль сушильных вагонеток. В первом канале над потолком установлены реверсивные вентиляторы для рециркуляции сушильного агента в поперечном

сечении канала и выравнивания тем самым температуры и влажности теплоносителя и кирпича-сырца по ширине и высоте канала.

Керамические изделия располагают с зазорами 10—30 мм на 10 полках вагонеток, которые заходят поочередно на 1-й и 2-й пути первого канала. Вагонетки продвигают по мере заталкивания новых вагонеток. На выходе из первого канала вагонетки с помощью специального лафета на поперечных рельсовых путях передают во второй канал, по которому они двигаются в обратном направлении.

Движение кирпича-сырца на вагонетках и теплоносителя организовано в каналах по принципу противотока с поперечной рециркуляцией. Для входа теплоносителя имеются три отверстия, расположенных по концам второго канала и в его середине.

Сушилка работает в полунепрерывном режиме, в смену (12 часов); заталкивание вагонеток идет через каждые ~15 минут в течение ~9 часов, а в остальное время движения вагонеток в каналах сушилки нет. В результате керамические изделия, зашедшие в сушилку в начале и конце смены, подвергаются сушке по различным термовлажностным режимам.

Разработанный автономный измерительно-регистрающий комплекс датчиков и приборов «Март» состоит из следующих элементов, основу которых составляют модули НПП «Интерприбор» (Челябинск):

1. Центральный блок предназначен для программирования работы всего комплекта, контроля регистрации и отображения на дисплее информации, поступающей от различных датчиков через адаптеры.
2. Три адаптера, к каждому из которых подключается по 8 датчиков. Адаптер имеет также разъемы для подключения к центральному блоку и следующему адаптеру.
3. Устройство для термостатирования вторичных приборов, обеспечивающее приемлемые условия их эксплуатации [4].

Датчики перемещения (их всего 4) имеют по две лапы (фиксированную и подвижную) с отверстиями для винтового крепления. Каждая из четырех пар датчиков температуры и влажности среды смонтирована в одном цилиндрическом корпусе с крышкой, которая играет роль фильтра. Датчики температуры смонтированы в цилиндрических неметаллических корпусах диаметром 6 мм. Всего таких пальчиковых датчиков (ПД) семь: по 2 на первом и втором адаптерах и 3 датчика на третьем адаптере. Каждый из двух датчиков температуры поверхности залит компаундом в металлическую чашку диаметром 15 мм и толщиной 5 мм. Датчик теплового потока ПТП-1 представляет собой плоский диск толщиной 2 мм, окаймленный металлическим кольцом диаметром 27 мм, внутри которого в темной затвердевшей массе компаунда находится батарея биметаллических термозащитных элементов.

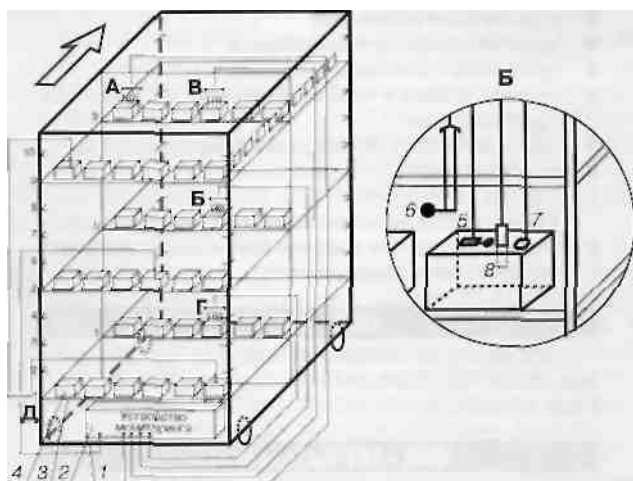


Схема расположения устройства мониторинга и датчиков на вагонетке: 1 - вагонетка; 2 - устройство мониторинга; 3 - полка вагонетки; 4 - кирпич; 5 - датчик усадки; 6 - датчик влажности и температуры среды; 7 - датчик температуры поверхности кирпича; 8 - датчик температуры внутри кирпича

Технические характеристики элементов комплекса «Март» следующие:

Общее количество датчиков	24
Длина линии связи центрального блока с адаптерами, не более, м	200
Максимальное количество регистрируемых отсчетов (в отсчете 24 параметра)	-10000
Датчик перемещения:	
- диапазон измерения, мм	0÷10
- разрешающая способность, мм, не хуже	0,01
- нелинейность, %	1,0 Датчик температуры:
Диапазон измерения, °С	-55 ÷ +125
- основная погрешность, %	0,5
Датчик относительной влажности:	
- диапазон измерения, %	0 ÷ 100
- основная погрешность, %	2,0
Датчик теплового потока ПТП-1:	
- диапазон измерения, Вт/м <sup>2</sup>	10÷1000
- основная погрешность, %	4,0
Периодичность отсчетов, задаваемая пользователем:	
- минимальная, с	20
- максимальная, ч	59
Время хранения информации при отключенном питании	не ограничено
Интерфейс связи с компьютером	RS-232
Питание	Ni-Cd аккумуляторы, 2 шт.; внешний блок питания, 5,5 В

Автономный комплекс «Март» многократно использовался для мониторинга параметров сушки керамических изделий на линии «С» ЗАО «Норский керамический завод» в г. Ярославле. Во время этих экспериментов были сформулированы и отработаны элементы методики применения комплекса «Март» на этапах подготовки, проведения эксперимента и обработки результатов в среде Excel с получением цветных графиков как всех параметров сразу, так и отдельных выделенных групп параметров.

Ниже дано описание расположения датчиков на вагонетке по схеме (см. рисунок). Основные группы датчиков А, Б, В, Г были расположены в средней плоскости вагонетки, перпендикулярной направлению движения. Группа датчиков А помещалась на 9-й полке в крайнем левом верхнем камне и около него; группа Б находилась в самом центре садки, группы В и Г соответственно над ней в центре 9-й полки и полки в центре 1-й полки (счет полок снизу вверх). Три датчика температуры группы Д были помещены в центре камней по диагонали на задней плоскости вагонетки: слева сверху на 9-й полке, в центре на 5-й полке и внизу справа на 1-й полке. Такое размещение групп датчиков было выбрано для того, чтобы сравнить динамику сушки предположительно в наиболее горячих точках (в углах садки) и в наиболее холодных точках (в центре садки). Общее время сушки составило 32 ч 20 мин, в течение которых через каждую минуту снимались и регистрировались в памяти прибора все параметры процесса сушки.

Результаты мониторинга параметров сушильного процесса были представлены графически (в статье графики не приводятся, а дается их описание).

По графикам усадки видно, что резко выделяется режим усадки для камня, находящегося в садке сверху слева. Здесь на протяжении первых 6 часов сушки влажность теплоносителя была самой низкой по поперечному сечению вагонетки ~90%, а температура 34—32°C чуть выше, чем в других местах. Поэтому усадка началась уже через ~3 ч и шла в медленном темпе следующие ~6 ч.

В центре садки по вертикали — группы Б, В, Г. Усадка началась позже и в основном проходила по схожим графикам. Но были и отличия: во-первых, раньше всего усадка началась в самом центре садки (группа Б) и шла очень медленно — около 6 ч. Интересно отметить, что на подробном графике видно, что линия усадки вначале идет вверх на величину ~0,07%. Влажность окружающей среды здесь была 100%, температура падала с 33°C

до 30°C. Возможно, в этих условиях происходила конденсация влаги на поверхности камня, поскольку температура поверхности камня была чуть ниже температуры окружающей среды, а температура центра камня еще ниже. Спад измеряемых температур на начальном участке сушилки наблюдался во всех экспериментах, он продолжался 5—6 ч и составлял 3—4°C.

По различным графикам (в статье не приводятся) видно, что если усадка в камне на краю садки сверху слева практически закончилась уже через 16 ч, то по центру садки сверху и внизу усадка продолжалась еще 4—5 ч (до конца 1-го канала), а в центре садки она продолжалась еще около 3 ч (в начале 2-го канала).

Сравнительный анализ результатов мониторинга параметров сушки позволяет сделать следующие выводы.

1. Наиболее проблемными являются два участка сушилки:

- начальный (4-5 позиций), где существуют подсосы воздуха из цеха и горячего теплоносителя из 2-го канала сушилки. Здесь неравномерное температурно-влажностное поле теплоносителя;

- средний, где из-за подвода горячего сухого теплоносителя повышается температура и снижается влажность воздуха в сушилке, причем имеют место большие градиенты этих параметров из-за плохого перемешивания свежего теплоносителя с общим его потоком.

2. Сушка и усадка изделий в основном заканчиваются в первом канале сушилки.

3. Усадка изделий сильнее зависит от влажности, чем от температуры теплоносителя. Величина усадки в результате сушки колеблется от 3,8% (над центром вагонетки сверху) до 5,2% (в центре садки на вагонетке).

4. Существуют значительные перепады средних температур и влажностей теплоносителя по высоте и ширине каналов, эти перепады легко определяются по графикам в любой момент времени.

5. Температура теплоносителя внизу первого канала заметно выше, чем сверху, что естественно. Это свидетельствует о том, что, вероятно, достаточно значительная часть потока теплоносителя идет в обход садки вдоль пустого пространства под нижней полкой.

6. Колебания влажности и температуры теплоносителя под воздействием потолочных и напольных рециркуляционных вентиляторов велики вблизи самих вентиляторов и быстро ослабевают при удалении от них. Ступенчатое изменение температуры внутри изделий свидетельствует об эффективности работы вентиляторов в целом.

На основании этих данных сформулированы рекомендации по совершенствованию конструкции и режима работы сушильного агрегата туннельного типа с полунепрерывным режимом работы.

#### Список литературы

1. Гинзбург Д.Б., Деликишкин С.Н., Ходоров Е.И., Чиж-ский А.Ф. Печи и сушилки силикатной промышленности / Под ред. Будникова П.П. М.: Госстройиздат, 1963. С. 344.
2. Химическая технология керамики: Учеб. пособие для вузов / Под ред. проф. И.Я. Гузмана. М.: ООО РИФ «Стройматериаль». 2003. 496 с.
3. Кондратенко В.А. Керамические стеновые материалы: оптимизация их физико-технических свойств и технологических параметров производства. М.: Композит. 2005. 512 с.
4. Гнездов Е.Н., Ракутина Д.В., Бухтров В.В., Батуев М.И., Киселев В.В., Петров Е.В. Устройство для измерения и регистрации параметров термообрабатываемых изделий при повышенных температурах. Патент на полезную модель №48630 // Оpubл. 27.10.2005 г. Б.И. №30

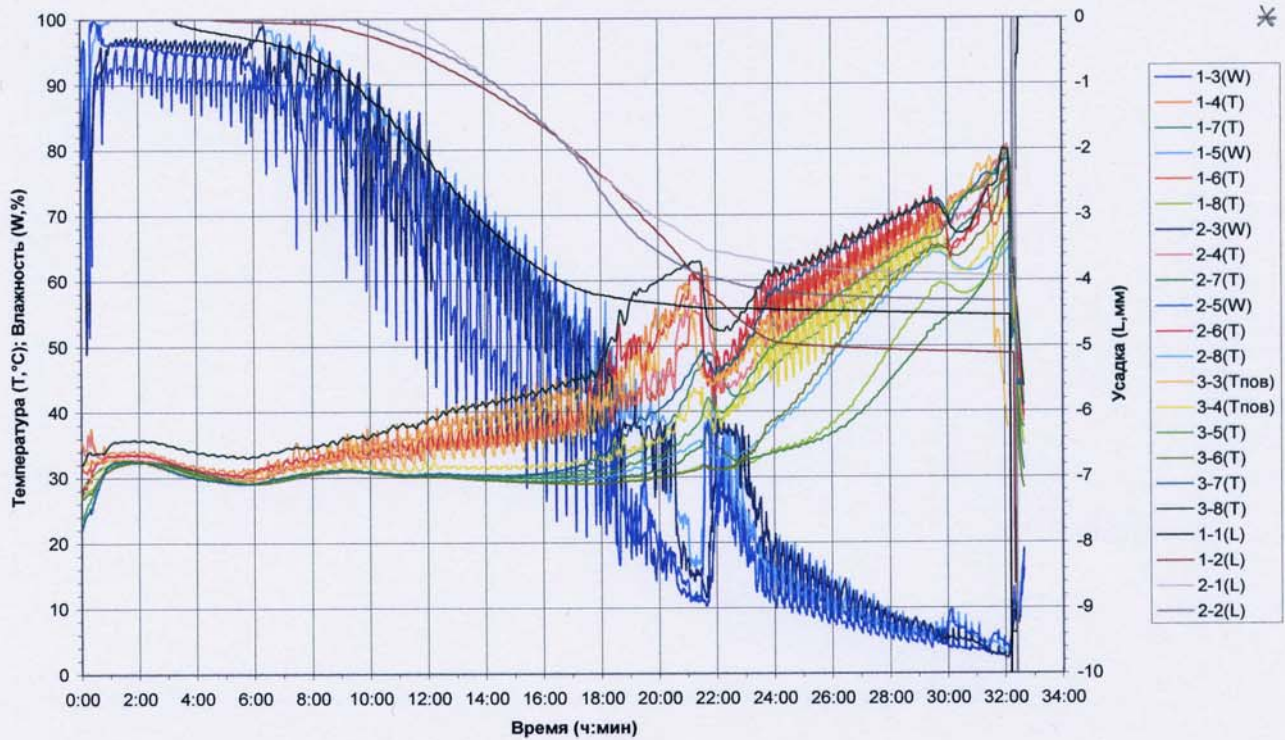


Рис. 2. Результаты мониторинга усадок, влажностей и температур во время сушки  
 Обозначения группы датчиков – А, Б, В, Г, Д; адаптеров (1-я цифра) – 1, 2, 3;  
 датчиков (2-я цифра) – 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8

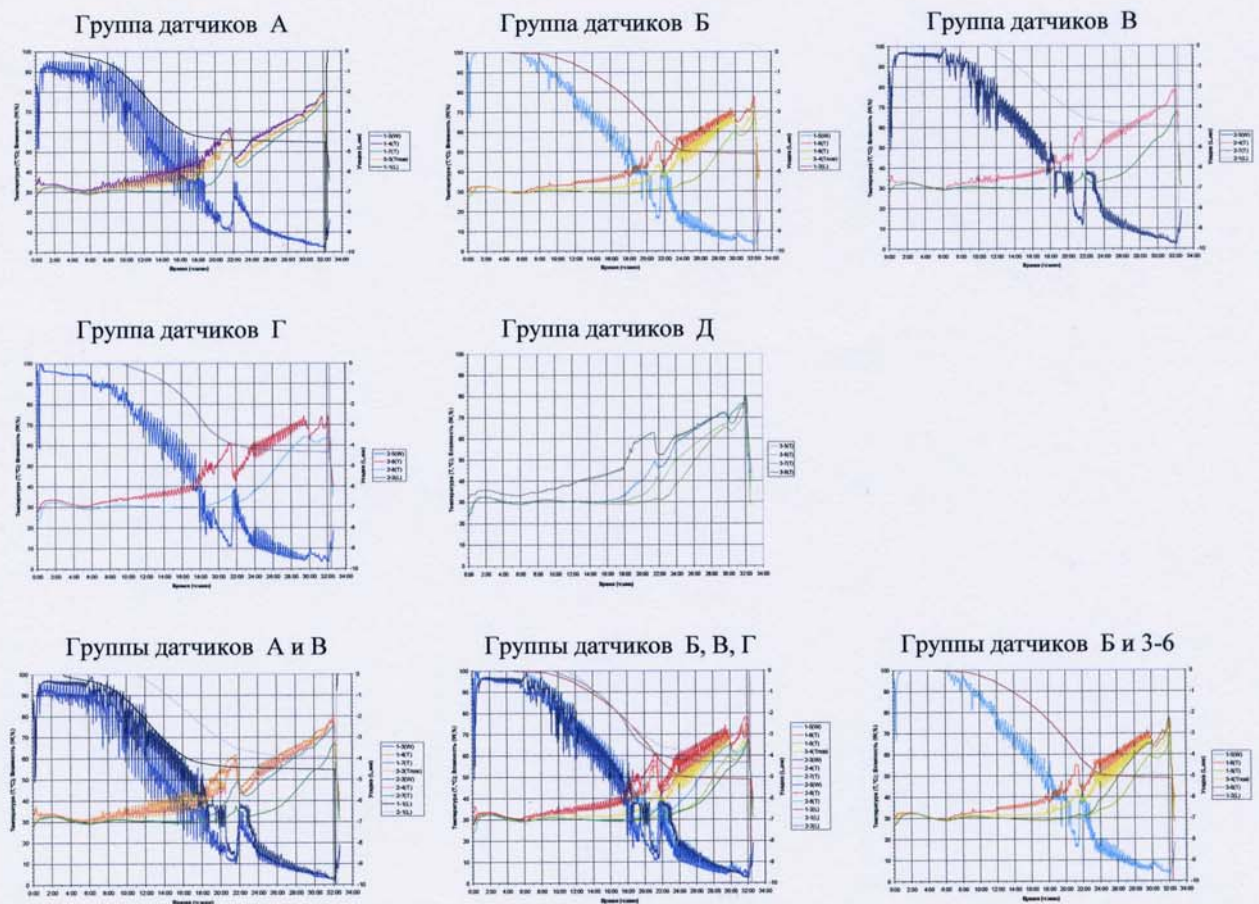


Рис. 3. Графики изменения параметров сушки по группам датчиков