

**Е.М. Ағзам\*, Р.К. Кусаинов, А.К. Какимов, А.Е. Еренгалиев, Н.К. Ибрагимов**  
Университет имени Шакарима города Семей,  
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глиники, 20 А  
\*e-mail: ektu\_09@mail.ru

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СУШИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССА СУШКИ КУРТА**

**Аннотация:** Целью работы является разработка системы измерения температуры с применением DS18B20 и подготовка к дальнейшему исследованию процесса сушки курта, проверки на работоспособность подключения к контроллеру Arduino Nano. Девять датчиков данной системы позволит в дальнейшем провести эксперимент и собрать информацию о температуре внутри курта в реальном времени в процессе сушки, что подтвердит надежность работы блока датчиков и сушильной установки для курта в целом. Монтаж датчика и контролера прошел успешно, что подтверждает первые результаты холостого измерения и мониторинга всех датчиков температуры посредством программы Terminal 1.9b. Диапазон температур датчиков рассчитана от -55 °C до +125 °C, что делает его подходящим для работы в широком спектре промышленных условий.

Результаты исследования имеют практическую ценность для последующих экспериментов по сушке курта и других пищевых продуктов, а также для контроля внутри процесса пищевого продукта в реальном времени. Данный метод монтажа может применяться для другого пищевого оборудования. Они могут способствовать оптимизации процесса сушки, с помощью мониторинга за процессом сушки, что является важным фактором для оперативности контроля и повышения качества продукта.

**Ключевые слова:** курт, сушильная установка, датчики температуры, технологические измерения в пищевой промышленности, сушильное оборудование, производство курта, сушка пищевых продуктов, измерение температуры курта.

### **Введение**

Обеспечение равномерности сушки продуктов питания является важным условием для достижения стабильного и высокого качества конечного продукта [1]. Одной из актуальных задач является получение данных о температурных параметрах внутри пищевого продукта и создание общей картины внутренних процессов, происходящих на лотках в рабочей зоне конвективной сушильной установки для курта [3, 4]. Это необходимо как для испытания оборудования на эффективность сушки, так и для построения кинетической модели процесса сушки внутри курта [5-7].

Исследование температурных параметров в процессе сушки курта играет важную роль в определении оптимальных условий работы установки и повышении её эффективности. Процесс сушки непосредственно зависит от повышения температуры внутри пищевого продукта, поскольку увеличение температуры ускоряет испарение влаги, способствуя эффективному высушиванию. Анализ параметров теплопередачи и температуры позволяет выявить наиболее подходящие условия сушки [8], что способствует сокращению времени производства, улучшению качества продукции и повышению энергоэффективности процесса.

### **Цель исследования**

Целью данного исследования является разработка системы измерения температуры и проверка её работоспособности для последующего проведения ряда экспериментов по сушке курта. Для достижения поставленной цели необходимо собрать данные о теплофизических параметрах внутри курта, который будет расположен в рабочей зоне сушильной установки.

В рамках работы были поставлены следующие задачи [2, 9]:

- выбор и обоснование применения подходящих измерительных датчиков и контроллера;
- установка и настройка системы измерения теплофизических параметров в сушильной установке для курта;
- проверка работоспособности системы измерения теплофизических параметров;

- подготовка системы измерения теплофизических параметров к ряду экспериментов по сушке курта в сушильной установке.

Результаты данного исследования имеют практическое значение для предприятий и производителей, занимающихся выпуском курта и других пищевых продуктов. Полученные данные помогут наладить качественный контроль технологического процесса, определить оптимальные режимы работы сушильной установки и улучшить процесс сушки в целом. Это позволит контролировать сушку при помощи установленных контрольно-измерительных приборов, повысить энергоэффективность и улучшить качество готовой продукции.

#### Материалы и методы исследования

Для измерения и контроля температуры внутри пищевого продукта были использованы датчики DS18B20 [10-12], изображённые на рисунке 1а. Сигналы с датчиков обрабатывались контроллером Arduino Nano 3.0 [12,13,14], оснащённым микроконтроллером ATmega328 (рис. 1б). Датчики DS18B20 представляют собой устройства с интегрированными сенсорами температуры, выдающими цифровой сигнал, и поставляются с заводской калибровкой. Характеристики датчика DS18B20 приведены в таблице 1.

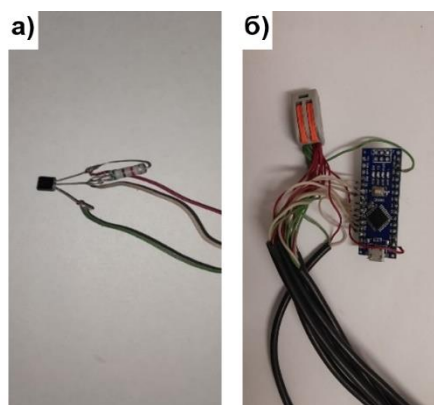


Рисунок 1 – Установка и распиновка датчика DS18B20 (а) и контроллера Arduino Nano 3.0

Таблица 1 – Характеристики датчика температуры DS18B20

|                                    |                                   |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| Напряжение питания:                | +3,3 ... +5,5 В                   |
| Диапазон измерения температуры:    | –55...+125 °С                     |
| Погрешность измерений температуры: | ±0,5 °С (в пределах –10...+85 °С) |
| Шаг измерения влажности:           | 0,1%                              |
| Период измерений:                  | 2 сек.                            |
| Интерфейс:                         | 1-Wire                            |
| Вес:                               | менее 1 гр                        |

Рисунок 1 иллюстрирует установку и распиновку компонентов для подключения датчика температуры DS18B20 к контроллеру Arduino Nano 3.0 (ATmega328):

- Рисунок 1(а) показывает, что датчики подключены через трехжильный провод, а для обеспечения стабильной работы линии данных используется подтягивающий резистор номиналом 5,1 кОм между VCC и DQ;
- Рисунок 1(б) отображает распиновку контроллера, к которому через соединительную клемму подключены все девять датчиков.

Использование соединительной клеммы позволяет упростить схему подключения и обеспечивает надежный контакт для корректной передачи данных от всех датчиков к микроконтроллеру.

В ходе эксперимента использовались 9 датчиков, размещённых по периметру рабочей зоны сушильной установки в трёх лотках, по три датчика в каждом. Схема расположения датчиков представлена на рисунке 2. Датчики DS18B20 были установлены свободно внутри сушильной установки, чтобы их можно было впоследствии разместить внутри курта при проведении экспериментов. Контроллер находился в защитном корпусе снаружи установки. Для подключения датчиков к контроллеру использовались провода типа ШТЛП сечением 3×0,4 мм², которые не закреплялись внутри сушильной установки, чтобы облегчить процесс установки датчиков в курт. Для предотвращения возможной путаницы все датчики были пронумерованы.

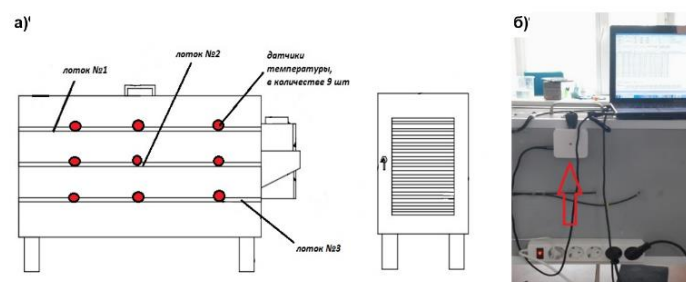


Рисунок 2 – Схема расположения датчиков и распределительной коробки

Контроллер был прикреплен в пластиковый корпус для защиты от внешнего воздействия с использованием эпоксидного клея, представляющего собой термореактивный состав из смолы (эпоксидного полимера) и отвердителя, обеспечивающий прочное, долговечное и надежное соединение различных поверхностей. Провода типа ШТЛП были проведены внутрь через отверстие, выполненное над сушильным оборудованием с помощью многоступенчатого сверла. Края отверстия были изолированы лентой для предотвращения повреждения проводов. Дополнительно был установлен датчик температуры и влажности непосредственно на входе теплого воздуха конвективной сушики для мониторинга нагрева теплоносителя в зоне его максимальной температуры в реальном времени.

Для защиты контактов датчика и резистора от воздействия влаги, как внутри продукта, так и в рабочей зоне сушильной установки, был применен санитарный силиконовый герметик. Этот материал, с температурным диапазоном эксплуатации от  $-40$  до  $+180^{\circ}\text{C}$ , полностью соответствует требованиям. Применение герметика обеспечивает герметичность соединений, предотвращает коррозию контактов, продлевает срок службы компонентов и повышает надежность работы оборудования даже в условиях высокой влажности и температурных перепадов.

Для подключения датчиков DS18B20 к контроллеру использовались подтягивающие резисторы номиналом  $5,1\text{ кОм}$ , обеспечивающие защиту датчиков от электромагнитных помех. Схема подключения датчиков к контроллеру представлена на рисунке 3.

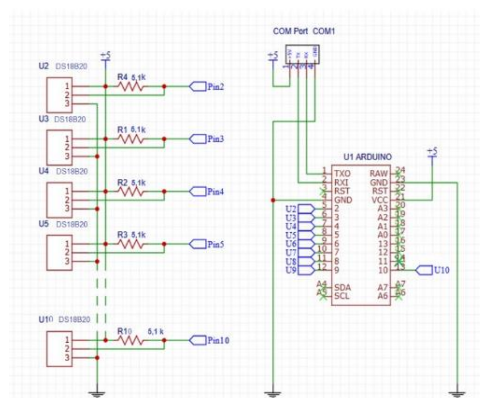


Рисунок 3 – Принципиальная электрическая схема системы измерения температуры курта

### Разработка программного обеспечения

Для контроллера было создано программное обеспечение, которое обеспечивает считывание данных с датчиков, их обработку и передачу через интерфейс UART на компьютер с использованием USB-кабеля. Съём данных о температуре с каждого датчика осуществлялся с интервалом 2 секунды. Для визуализации и регистрации полученных данных на компьютере было использовано программное обеспечение Terminal 1,9b, представленное на рисунке 4. В данной программе отображаются измеряемая температура, идентификационный номер датчика и временные метки в секундах. Датчики осуществляют измерение температуры с интервалом в 2 секунды. [15]. Все пробные измеренные значения температуры и время фиксации сохранялись в текстовом файле с расширением txt.

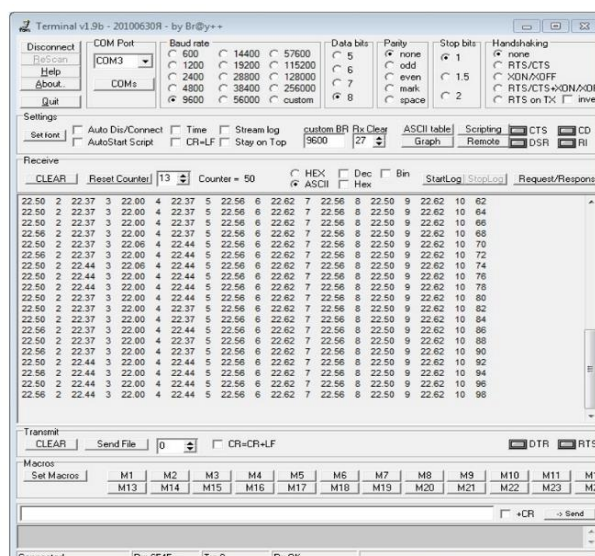


Рисунок 4 – Проверка на работоспособность системы измерения теплофизических параметров

## Результаты и обсуждение

Анализ полученных данных температуры воздуха показал, что все датчики работают стабильно и надёжно. Данные демонстрируют отсутствие резких колебаний и отклонений, что свидетельствует о высокой точности измерений. Согласованные показания датчиков подтверждают корректную их калибровку.

Данные, полученные в ходе эксперимента, в дальнейшем позволяют построить температурные профили внутри рабочей зоны сушильной установки, а также определить равномерность распределения температуры на различных участках лотков. Расположение датчиков по трем уровням (верхний, средний, нижний лотки) обеспечит полное покрытие измеряемой зоны и позволит детально анализировать процессы теплопередачи. Система измерения температуры позволит выявить эффективность циркуляции теплого воздуха в сушильной установке. Также данные, которые будут получены от системы измерения температуры, будут важны для дальнейшей настройки процесса сушки, так как позволяют определить время достижения стационарного режима работы.

Данные, полученные в ходе эксперимента, в дальнейшем позволяют построить температурные профили внутри рабочей зоны сушильной установки, а также определить равномерность распределения температуры на различных участках лотков. Расположение датчиков по трем уровням (верхний, средний, нижний лотки) обеспечит полное покрытие измеряемой зоны и позволит детально анализировать процессы теплопередачи. Система измерения температуры позволит выявить эффективность циркуляции теплого воздуха в сушильной установке. Также данные, которые будут получены от системы измерения температуры, будут важны для дальнейшей настройки процесса сушки, так как позволяют определить время достижения стационарного режима работы.

Применение санитарного силиконового герметика и эпоксидного клея обеспечило надежную защиту датчиков и соединений, что позволит избежать сбоев в измерениях даже при высокой влажности и изменениях температуры.

Полученные первоначальные данные подтвердили работоспособность разработанной системы измерения. Достоверность измерений была проверена путем сравнения данных с контрольным датчиком температуры, показания которого совпадали с данными DS18B20 в пределах допустимой погрешности  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . Это доказывает, что система готова к проведению полномасштабных экспериментов по изучению кинетики сушки курта.

Представленные результаты служат основой для дальнейших исследований, направленных на определение оптимальных режимов сушки, минимизацию потерь энергии и улучшение качества готового продукта.

## Заключение, выводы

Проведённое исследование продемонстрировало стабильную и надёжную работу датчиков температуры и влажности, которые будут представлять высококачественные

данные для последующего анализа и научных исследований. Полученные результаты подтверждают готовности оборудования к последующим экспериментам сушки курта. Именно контрольно-измерительные приборы показывает работоспособность оборудования с помощью мониторинга процесса сушки.

Результаты данной статьи имеют практическую научную ценность, поскольку они дают возможность провести эксперименты другим исследователям, получив данные о процессе сушки с помощью контрольно-измерительных приборов, которых можно установить и на других оборудовании. Эти сведения помогут построить кривые или зависимые графики, анализировать данные, контролировать и оптимизировать эксплуатационные параметры сушильной установки и определить наиболее эффективные режимы работы, что в дальнейшем будет способствовать улучшению качества продукции и повышению эффективности производственного процесса.

### Список литературы

1. Лыков А.В. Теория сушки / А.В. Лыков. – Москва: Энергия, 1968. – 472 с.
2. Куприянов Б.В. Технологические измерения и КИП в пищевой промышленности / Б.В. Куприянова. – Москва: Пищевая промышленность, 1977 – 275 с.
3. Гинзбург А.С. Основы теории и техники сушки пищевых продуктов / А.С. Гинзбург. – Москва: Пищевая промышленность, 1973. – 526 с.
4. Выбор оптимального оборудования при сушке курта / Е.М. Афзам и др. // Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки. – 2024. – № 2(14). – С. 66-73. [https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-2\(14\)-9](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-2(14)-9).
5. Разработка сушильной установки для производства курта / Е.М. Афзам и др. // Вестник Университета Шакарима. Серия технические науки. – 2024. – № 3(15). – С. 104-110. [https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-16](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-16).
6. Исследование пищевой безопасности национального продукта «курт», вырабатываемого на предприятиях восточно-казахстанской области / Ш.К. Жакупбекова и др. // Вестник Алматинского технологического университета. – 2022. – № 4. – С. 146-152. <https://doi.org/10.48184/2304-568X-2022-4-146-152>.
7. Соколов В.И. Основы расчёта и конструирования машин и аппаратов пищевых производств / В.И. Соколов. – Москва: Колос, 1992. – 395 с.
8. Гинзбург А.С. Технология сушки пищевых продуктов / А.С. Гинзбург. – Москва: Пищевая промышленность, 1977 – 248 с.
9. Федоров В.Г. Планирование и реализация экспериментов в пищевой промышленности / В.Г. Федоров, А.К. Плесконос. – Москва: Пищевая промышленность, 1980. – 171 с.
10. A Working Prototype Using DS18B20 Temperature Sensor and Arduino for Health Monitoring / S. Rameshaha et al // SN COMPUT. SCI. – 2021. – № 2. – P. 33. <https://doi.org/10.1007/s42979-020-00434-2>.
11. Elyounsi A. Evaluating Suitability of a DS18B20 Temperature Sensor for Use in an Accurate Air Temperature Distribution Measurement Network / A. Elyounsi, A.N. Kalashnikov // Engineering Proceedings. – 2021. – № 10(1). – P. 56. <https://doi.org/10.3390/ecsa-8-11277>.
12. Xiong F. Wireless temperature sensor network based on DS18B20, CC2420, MCU AT89S52 / F. Xiong // 2015 IEEE International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN), Chengdu, China. – 2015. – P. 294-298. <https://doi.org/10.1109/ICCSN.2015.7296172>.
13. Development of NCAM Temperature and Humidity Sensor / O.A. Ogunjirin et al // International Journal of Science and Research. (IJSR). – 2019. – Vol. 9, Issue 12. – P. 101-106.
14. Design of Dodol Mixer on Based on Microcontroller Arduino Nano / Ch. Saputraa et al // Journal of Applied Business and Technology. Journal of Applied Business and Technology (JABT). – 2024. – 5(1). – 23-31.
15. Лебедев Н.В. Принципы автоматизации управления приемоподающим каналом и получения данных ввода-вывода на базе программируемых микроконтроллеров STM32 / Н.В. Лебедев, В.В. Кучерук // Успехи современной науки. – 2017. – Том 7, № 3.

## References

1. Lykov A.V. Teoriya sushki / A.V. Lykov. – Moskva: Ehnergiya, 1968. – 472 s. (In Russian).
2. Kupriyanov B.V. Tekhnologicheskie izmereniya i KIP v pishchevoi promyshlennosti / B.V. Kupriyanova. – Moskva: Pishchevaya promyshlennost', 1977 – 275 s. (In Russian).
3. Ginzburg A.S. Osnovy teorii i tekhniki sushki pishchevykh produktov / A.S. Ginzburg. – Moskva: Pishchevaya promyshlennost', 1973. – 526 s. (In Russian).
4. Vybora optimal'nogo oborudovaniya pri sushke kurta / E.M. Arzam i dr. // Vestnik Universiteta Shakarima. Seriya tekhnicheskie nauki. – 2024. – № 2(14). – S. 66-73. [https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-2\(14\)-9](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-2(14)-9). (In Russian).
5. Razrabotka sushil'noi ustanovki dlya proizvodstva kurta / E.M. Arzam i dr. // Vestnik Universiteta Shakarima. Seriya tekhnicheskie nauki. – 2024. – № 3(15). – S. 104-110. [https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3\(15\)-16](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2024-3(15)-16). (In Russian).
6. Issledovanie pishchevoi bezopasnosti natsional'nogo produkta «kurT», vyrabatyvaemogo na predpriyatiyakh vostochno-kazakhstanskoy oblasti / SH.K. Zhakupbekova i dr. // Vestnik Almatinskogo tekhnologicheskogo universiteta. – 2022. – № 4. – S. 146-152. <https://doi.org/10.48184/2304-568X-2022-4-146-152>. (In Russian).
7. Sokolov V.I. Osnovy rascheta i konstruirovaniya mashin i apparatov pishchevykh proizvodstv / V.I. Sokolov. – Moskva: Kolos, 1992. – 395 s. (In Russian).
8. Ginzburg A.S. Tekhnologiya sushki pishchevykh produktov / A.S. Ginzburg. – Moskva: Pishchevaya promyshlennost', 1977 – 248 s. (In Russian).
9. Fedorov V.G. Planirovaniye i realizatsiya eksperimentov v pishchevoi promyshlennosti / V.G. Fedorov, A.K. Pleskonos. – Moskva: Pishchevaya promyshlennost', 1980. – 171 s. (In Russian).
10. A Working Prototype Using DS18B20 Temperature Sensor and Arduino for Health Monitoring / S. Ramesha et al // SN COMPUT. SCI. – 2021. – № 2. – R. 33. <https://doi.org/10.1007/s42979-020-00434-2>. (In English).
11. Elyounsi A. Evaluating Suitability of a DS18B20 Temperature Sensor for Use in an Accurate Air Temperature Distribution Measurement Network / A. Elyounsi, A.N. Kalashnikov // Engineering Proceedings. – 2021. – № 10(1). – R. 56. <https://doi.org/10.3390/ecsa-8-11277>. (In English).
12. Xiong F. Wireless temperature sensor network based on DS18B20, CC2420, MCU AT89S52 / F. Xiong // 2015 IEEE International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN), Chengdu, China. – 2015. – R. 294-298. <https://doi.org/10.1109/ICCSN.2015.7296172>. (In English).
13. Development of NCAM Temperature and Humidity Sensor / O.A. Ogunjirin et al // International Journal of Science and Research. (IJSR). – 2019. – Vol. 9, Issue 12. – R. 101-106. (In English).
14. Design of Dodol Mixer on Based on Microcontroller Arduino Nano / Ch. Saputra et al // Journal of Applied Business and Technology. Journal of Applied Business and Technology (JABT). – 2024. – 5(1). – 23-31. (In English).
15. Lebedev N.V. Printsipy avtomatizatsii upravleniya priemoperedayushchim kanalom i polucheniya dannykh vvoda-vyvoda na baze programmiruemykh mikrokontrollerov STM32 / N.V. Lebedev, V.V. Kucheruk // Uspekhi sovremennoy nauki. – 2017. – Tom 7, № 3. (In Russian).

**Е.М. Ағзам\*, Р.К. Құсайынов, А.Қ. Кәкімов, А.Е. Еренғалиев, Н.Қ. Ибрагимов**

Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті,  
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қаласы, көш. Глинка, 20А  
\*e-mail: ektu2009@gmail.com

## **ҚҰРТТЫ КЕПТІРУ ПРОЦЕСІН БАҚЫЛАУ ҮШІН КЕПТІРУ АППАРАТЫНЫҢ ТЕМПЕРАТУРАСЫН ӨЛШЕУ ЖҮЙЕСІН ӨЗІРЛЕУ**

*Жұмыстың мақсаты DS18B20 көмегімен температураны өлшеу жүйесін өзірлеу және Arduino Nano контроллеріне қосылудың функционалдығын сынау, құртты кептіру процесін одан әрі зерттеуге дайындау. Бұл жүйенің тоғыз датчигі бізге болашақта эксперимент жүргізуге және кептіру процесі кезінде нақты уақыт режимінде құрт ішіндегі температура туралы ақпаратты жинауға мүмкіндік береді, бұл сенсорлық блок пен құрт үшін кептіру қондырғысының сенімділігін растайды. Датчик пен контроллерді орнату сәтті болды, бұл Terminal 1.9b бағдарламасының көмегімен барлық температура сенсорларының бос жүрістерін өлшеу және бақылаудың алғашқы нәтижелерімен расталады. Датчиктердің температура диапазоны -55 °C-тан +125 °C-қа дейін есептеледі, бұл оны өнеркәсіптік жағдайлардың кең ауқымында жұмыс істеуге жарамды етеді.*

*Зерттеу нәтижелері құртты және басқа да тамақ өнімдерін кептіру бойынша кейінгі тәжірибелер үшін, сондай-ақ нақты уақыт режимінде азық-түлік өнімдерінің процесін бақылау үшін практикалық мәнге ие. Бұл орнату әдісін басқа тамақ жабдықтарына қолдануға болады. Олар кептіру процесін бақылау арқылы кептіру процесін оңтайландыруға көмектесе алады, бұл бақылау тиімділігі мен өнімнің сапасын арттырудың маңызды факторы болып табылады.*

**Түйін сөздер:** құрт, кептіру қондырғысы, температуралық датчиктер, тамақ өнеркәсібіндегі технологиялық өлшемдер, кептіру жабдықтары, құрт өндіру, тамақ өнімдерін кептіру, құрт температурасын өлшеу.

**E.M. Agzam\*, R.K. Kusainov, A.K. Kakimov, A.E. Erengaliev, N.K. Ibragimov**

Semey University named after Shakarim,  
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, Glinka St., 20A  
\*e-mail: ektu2009@gmail.com

## **DEVELOPMENT OF A SYSTEM FOR MEASURING THE TEMPERATURE OF A DRYING UNIT FOR MONITORING THE DRYING PROCESS OF KURT**

*The aim of the work is to develop a temperature measurement system using DS18B20 and prepare for further study of the drying process of kurt, checking the operability of the connection to the Arduino Nano controller. Nine sensors of this system will allow in the future to conduct an experiment and collect information about the temperature inside the kurt in real time during the drying process, which will confirm the reliability of the sensor unit and the drying unit for kurt as a whole. Installation of the sensor and controller was successful, which confirms the first results of idle measurement and monitoring of all temperature sensors using the Terminal 1,9b program. The temperature range of the sensors is calculated from -55°C to + 125°C, which makes it suitable for operation in a wide range of industrial conditions. The results of the study have practical value for subsequent experiments on drying kurt and other food products, as well as for monitoring the process of food products in real time. This installation method can be applied to other food equipment. They can contribute to the optimization of the drying process by monitoring the drying process, which is an important factor for the efficiency of control and improving the quality of the product.*

**Key words:** kurt, drying unit, temperature sensors, process measurements in the food industry, drying equipment, kurt production, drying food products, kurt temperature measurement.

### **Сведения об авторах**

**Ерхан Мейрамұлы Ағзам\*** – докторант кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: ektu\_09@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7684-5089>.

**Ринат Кенжеевич Кусаинов** – физика-математика ғылымдары және информатика кафедрасының аға оқытушысы; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; «Инжинирингтік орталықтың» жетекшісі; e-mail: rinat.k.kus@mail.ru. ORCID: 0000-0001-5166-4761.

**Айтбек Калиевич Какимов** – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение»; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; e-mail: bibi.53@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9607-1684>.

**Амангельды Еренгалиевич Еренгалиев** – кандидат технических наук, профессор кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение», Университет имени Шакарима города Семей, ул. Глинки 20А, г. Семей, Республика Казахстан, телефон: +77052763541, e-mail: erengaliev48@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6653-9730>.

**Надир Кадырович Ибрагимов** – кандидат технических наук, преподаватель кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение», Университет имени Шакарима города Семей, ул. Глинки 20А, г. Семей, Республика Казахстан, телефон: +7 705 526 1824, e-mail: ibragimnk@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9607-823X>.

### **Авторлар туралы мәліметтер**

**Ерхан Мейрамұлы Ағзам\*** – «Технологиялық жабдықтар және машина жасау» кафедрасының докторанты; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: ektu\_09@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7684-5089>.

**Ринат Кенжеевич Кусаинов** – старший преподаватель кафедры физико-математических наук и информатики; Университет имени Шакарима города Семей, Республика Казахстан; Руководитель «Инжинирингового центра»; e-mail: rinat.k.kus@mail.ru. ORCID: 0000-0001-5166-4761.

**Айтбек Калиевич Какимов** – техника ғылымдарының докторы, «Технологиялық жабдық және машина жасау» кафедрасының профессоры; Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: bibi.53@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9607-1684>.

**Амангельды Еренғалиевич Еренғалиев** – техника ғылымдарының кандидаты, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университетінің «Технологиялық жабдықтар және машина жасау» кафедрасының профессоры, көш. Глинка 20А, Қазақстан Республикасы, Семей қ., телефон: +77052763541, e-mail: erengaliev48@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6653-9730>.

**Надир Кадырович Ибрагимов** – техника ғылымдарының кандидаты, Семей қаласының Шәкәрім атындағы университетінің «Технологиялық жабдықтар және машина жасау» кафедрасының оқытушысы, к. Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинка 20А, телефон: +7 705 526 1824, e-mail: ibragimnk@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9607-823X>.

#### Information about the authors

**Erkhan Agzam\*** – doctoral student of the department «Technological equipment and mechanical engineering»; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: ektu\_09@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7684-5089>.

**Rinat Kussainov** – Senior Lecturer, Department of Physical and Mathematical Sciences and Informatics; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; Head of «Engineering Center»; e-mail: rinat.k.kus@mail.ru. ORCID: 0000-0001-5166-4761.

**Aitbek Kakimov** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technological Equipment and Mechanical Engineering; Shakarim University of Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: bibi.53@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9607-1684>.

**Amangeldy Yerengaliyev** – Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Technological Equipment and Mechanical Engineering, Shakarim University of Semey, st. Glinka 20A, Semey, Republic of Kazakhstan, e-mail: erengaliev48@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-6653-9730>

**Nadir Ibragimov** – Candidate of Technical Sciences, teacher of the Department of Technological Equipment and Mechanical Engineering, Shakarim University of Semey, st. Glinka 20A, Semey, Republic of Kazakhstan, e-mail: ibragimnk@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9607-823X>.

*Поступила в редакцию 21.01.2025  
Поступила после доработки 14.03.2025  
Принята к публикации 17.03.2025*