

Научная статья
УДК 637.072
doi:10.35694/YARCX.2024.67.3.015

АВТОМАТИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА УРОВНЯ КИСЛОТНОСТИ МОЛОКА С ПРИМЕНЕНИЕМ ПЛАТФОРМЫ ARDUINO

Артем Викторович Кузин¹, Ирина Марковна Соцкая², Роман Дмитриевич Адакин³

^{1, 2, 3}Ярославский государственный аграрный университет, Ярославль, Россия

¹artcuz@bk.ru

²i.sockaya@yarcx.ru

³r.adakin@yarcx.ru

Реферат. Один из основных физико-химических показателей молока – это кислотность, которая может сообщать не только о непригодности молока для употребления в пищу, но и о болезнях крупного рогатого скота. В статье предлагается проект прибора с простой конструкцией, не требующего больших экономических затрат в изготовлении и позволяющего отслеживать кислотность молока и молочной продукции на всех этапах производства. Устройство является портативным и может быть оснащено модулями беспроводной передачи данных для удалённого информирования оператора производственной линии с выводом информации в реальном времени на монитор. Для разработки используется микроконтроллерная платформа Arduino UNO и BNC-модуль с измерительным щупом pH-метра.

Ключевые слова: кислотность молока, контроль качества, приборы мониторинга, микроконтроллеры, автоматизация

AUTOMATION OF MILK ACIDITY LEVEL MONITORING USING THE ARDUINO PLATFORM

Artem V. Cuzin¹, Irina M. Sotskaya², Roman D. Adakin³

^{1, 2, 3}Yaroslavl State Agrarian University, Yaroslavl, Russia

¹artcuz@bk.ru

²i.sockaya@yarcx.ru

³r.adakin@yarcx.ru

Abstract. One of the main physical and chemical indicators of milk is acidity, which can report not only the unsuitability of milk for human consumption, but also diseases of cattle. The article proposes a project of a device with a simple design that does not require large economic costs in production and allows monitoring the acidity of milk and dairy products at all stages of production. The device is portable and can be equipped with wireless data transmission modules for remote informing the production line operator with real-time information output to the monitor. For development, the Arduino UNO microcontroller platform and a BNC module with a pH meter measuring probe are used.

Keywords: milk acidity, quality control, monitoring devices, microcontrollers, automation

Введение. Современная промышленная переработка молока, основанная на высокотехнологичных процессах, предъявляет повышенные требования к качеству молока, используемого в качестве сырья для производства широкого ассортимента молочных продуктов. Низкое качество сырья порождает огромные потери, компенсация которых требует привлечения дополнительных трудовых и материальных ресурсов, а также влияет на спрос на данную продукцию и её конкурентоспособность. В этой связи одним из главных при-

оритетных направлений молочного скотоводства является разработка эффективных систем управления и контроля технологическими процессами производства высококачественного молока-сырья, соответствующего санитарно-гигиеническим нормам и требованиям перерабатывающих предприятий [1]. Среди показателей качества молочной продукции особо выделяют такой показатель, как кислотность, позволяющий определить свежесть продукта, его пригодность к дальнейшей переработке и т.д.

Оценивая кислотность готового продукта, можно судить о двух важнейших критериях, используемых для контроля качества молочного производства, таких как соблюдение санитарно-гигиенических норм и рацион питания животных. Повышение кислотности молока в большинстве случаев также может сигнализировать о появлении некоторых заболеваний у животных [2]. Например, при нарушении минерального обмена различной степени тяжести у коров наблюдаются отклонения титруемой кислотности молока [3].

В сельскохозяйственном производстве для измерения кислотности молока используется шкала Тернера. Градус Тернера показывает число миллилитров 0,1 н раствора гидроксида натрия (или гидроксида калия), необходимое для нейтрализации 100 мл или 100 грамм продукта. Чем ниже показатель кислотности, тем более свежим является молоко. В соответствии с требованиями ТР ТС 033/2013 «О безопасности молока и молочной продукции» кислотность принимаемого на переработку молока должна быть в пределах от 16 до 21°Т (включительно). Не разрешается реализовывать молоко с кислотностью 22°Т и выше, так как оно скисло, а молоко с кислотностью ниже 15°Т считается разбавленным водой [4].

Молоко с высоким показателем кислотности при нагревании сворачивается быстрее, поэтому подлежит переработке на кисломолочные продукты. Такое молоко целесообразно перерабатывать в сыры, так как оно быстрее свертывается сычужным ферментом.

Известно о нескольких методиках определения кислотности молока, применяемых на сегодняшний день в перерабатывающей промышленности. Данные способы сводятся к методикам, описанным в ГОСТ 3624-92, таким как потенциометрический метод, метод определения предельной кислотности и метод с применением индикатора фенолфталеина. Остановимся на последнем. При этом методе к 10 мл молока добавляются 20 мл дистиллированной воды и 3 капли 1%-ного раствора фенолфталеина. Полученную смесь титруют 0,1 н раствором щёлочи (едкого натра) до образования слабо-розовой окраски. Количество щёлочи, затраченной на титрование, умножают на десять [5]. Данная методика не позволяет определить кислотность с абсолютной точностью, т.к. оценивание окраски раствора происходит «на глаз». Также подобным методом нельзя отслеживать кислотность только что выдоенного молока. И, наконец, подобный способ не применим к автоматизации.

Существуют анализаторы молока, способные определять кислотность, однако стоимость подобных приборов достаточно высока. Так, например, анализатор молока с определением кислотности

«Эксперт Профи» от НКО «ТехноКом» стоит порядка 85 тыс. рублей (на момент осени 2023 года) [6]. Данное устройство уже откалибровано для определения показателей пастеризованного и сырого молока, имеет интерфейс для непосредственного вывода информации в печатные отчёты, а также имеет высочайшую точность. Подобное устройство всё же не способно определять кислотность только что выдоенного молока в автоматическом режиме.

До сих пор на молочном производстве кислотность молока измеряется вручную оператором, что не является эффективным решением для отслеживания показателя кислотности в динамике. Возможность непрерывного измерения показателя кислотности предоставила бы возможность специалистам тщательнее изучать причины заболеваемости крупного рогатого скота или помочь в определении причин снижения уровня качества производимой продукции.

Авторами статьи предлагается разработка и создание точного и недорогого в производстве и обслуживании прибора. Систему таких устройств можно применить на производстве молочной продукции любого масштаба в качестве элемента автоматизации.

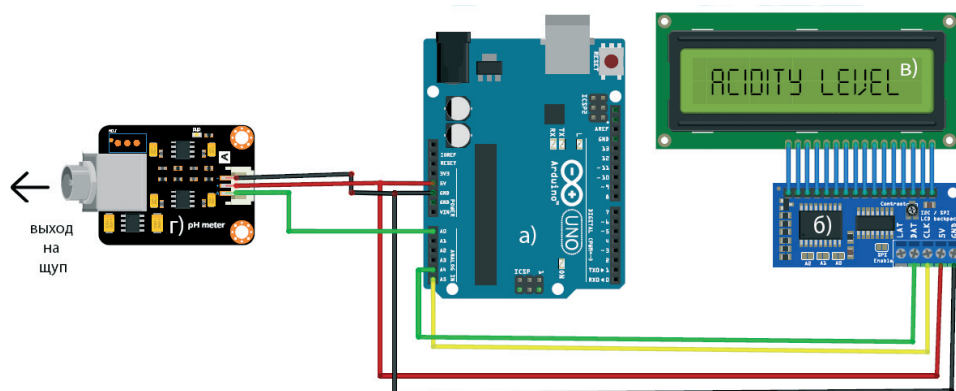
Измерения pH раствора давно применяются в различных отраслях промышленности, а также на ремонтных и обслуживающих предприятиях и экологических службах. В частности, кислотность – важнейший агрохимический показатель для определения пригодности почв для выращивания целого ряда культур [7].

Для измерений используются различные разновидности pH-метров, существующие как самостоятельные датчики и как часть аппаратно-программных комплексов.

Цель работы – создать программно-исследовательский комплекс для оперативного контроля кислотности молока с выводом информации в реальном времени на монитор.

Новизна предлагаемой методики заключается в использовании оригинального программного обеспечения, позволяющего выводить текущую информацию о кислотности молока в анимационном виде на монитор, где сигнальные лампы помогают оператору мгновенно оценить текущую информацию о состоянии качества молока и при необходимости прервать надой молока, предотвратив порчу всей партии.

Методика. Благодаря существованию такого аппаратно-программного средства прототипирования и построения электронных устройств, как Arduino, в настоящее время можно проектировать и комбинировать большое число анализаторов, объединять их в иерархические информационные и сигнальные системы и т.д. Arduino – это плат-



а) микроконтроллер Arduino UNO; б) преобразователь интерфейса I2C в LCD; в) дисплей серии 1602 (или 2004); г) pH-метр с разъёмом BNC.

Рисунок 1 – Концептуальная схема прибора для мониторинга кислотности молока

форма, состоящая из нескольких разновидностей управляющих микроконтроллеров (именуемых в официальной документации, как «boards»), плат расширения (именуемых, как «shields»), а также разнообразных датчиков и приборов, позволяющих решать множество прикладных задач. Для платформы существует специальная среда разработки Arduino IDE, в основе которой лежит язык программирования C++, что позволяет достаточно легко составлять необходимые программы управления [8]. С помощью данного аппаратно-программного средства возможно, например, осуществлять систему управления движением мобильного робота, используя программное обеспечение, работающее в режиме реального времени и обеспечивающее связь между персональным компьютером и Arduino Mega через последовательный интерфейс [9].

Платформа Arduino является полностью открытой, и разработчики не поставляют никакого корпусного и монтажного конструктива, оставляя за инженерами и энтузиастами право самостоятельно определять форму и внешний вид готового устройства. Микроконтроллеры можно подключать между собой, составляя цепь из сигнализаторов, и не требуют использования компьютера, разве что для написания программного кода, первичной прошивки и отладки.

Российским предприятием-дистрибьютором и производителем радиоэлектронных компонентов «Амперка» была разработана система «Тройка», использующая трёхконтактную схему подключения датчиков, что легко и быстро позволяет заменять датчики, не прибегая к пайке и обжиму разъёмов [10]. Каждый элемент оснащён трёхпроводным шлейфом, а также имеет стандартизированный форм-фактор в один юнит – квадрат со сторонами 25,4 мм. Имеются более габаритные модули, но число юнитов в них всегда чётно, что позволяет

собирать компактные устройства и создавать для них удобные корпуса. Также предприятием разработана система креплений «Структор», позволяющая обходиться при сборке и без корпуса [11].

Среди большого числа датчиков для Arduino существует и несколько разновидностей pH-метров. Например, Тройка-модуль с лабораторным pH-электродом имеет точность $\pm 0,1$ pH и рассчитан на непродолжительные замеры, что вполне позволит измерить кислотность только что выдоенного молока. На тех участках производства, где необходим непрерывный мониторинг кислотности продукта, можно воспользоваться более дорогим и более точным ($\pm 0,02$ pH) датчиком DFRobot Pro с промышленным электродом Haoshi H-101 [12].

Результаты и обсуждение. Вне зависимости от типа выбранного датчика нами разработана концептуальная схема прибора, представленная на рисунке 1.

К микроконтроллеру Arduino UNO (а) или Arduino NANO в аналоговые входы A0, A4 и A5 подключаются BNC-модуль (г) и преобразователь интерфейса LCD в I2C (б) для вывода показателей датчика на дисплей (в). Непосредственно к преобразователю подключается дисплей серии 1602 или 2004. Аналогичным образом подключаются модуль pH-метра и дисплей для питания с платы Arduino в аналоговые входы GND и 5V. К самому BNC-модулю присоединяется щуп марки E-201-C или Haoshi H-101, который является расходным материалом, необходимым для замены минимум раз в полгода для поддержания точности показателей прибора. При каждой замене щупа прибор необходимо откалибровать.

После подключения всех компонентов устройства необходимо произвести его прошивку и калибровку. Для получения корректных измерений с щупа был написан код на языке программирования C++:

```

#define SensorPin 0 //Подключение ана-
логового выхода BNC-модуля к аналоговому входу
0 контроллера Arduino
unsigned long int avgValue; //Хране-
ние среднего значения обратной связи датчика в
миллисекундах
float b;
int buf[10],temp;

void setup()
{
  pinMode(13,OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
  Serial.println(«Готов к работе»);
//Проверка вывода на дисплей
}
void loop()
{
  for(int i=0;i<10;i++) //Получение
10 показателей выборки датчика для уточнения
исходного значения
  {
    buf[i]=analogRead(SensorPin);
    delay(10);
  }
  for(int i=0;i<9;i++) //Сортировка
значений от меньшего к большему
  {
    for(int j=i+1;j<10;j++)
    {
      if(buf[i]>buf[j])
      {
        temp=buf[i];
        buf[i]=buf[j];
        buf[j]=temp;
      }
    }
  }
  avgValue=0;
  for(int i=2;i<8;i++) //Нахождение
меры центральной выборки
  avgValue+=buf[i];
  float phValue=(float)avgVal-
ue*5.0/1024/6; //Конвертация показателей в
милливольты
  phValue=3.5*phValue; //Конвертация
милливольт в значение pH
  Serial.print(" pH:");
  Serial.print(phValue,2);
  Serial.println(" ");
  digitalWrite(13, HIGH);
  delay(800);
  digitalWrite(13, LOW);
}

```

В результате однократной работы прибора на дисплей будут выведены наименьшее и наибольшее значения pH, полученные в результате замера.

Однако оценивание уровня кислотности молока на основании значения pH недопустимо, так как требуется перевод водородного показателя в градусы Тернера. Большинство предприятий агропромышленного комплекса имеют собственные методики для определения титруемой кислотности и полученные на их основании справочные таблицы. Например, АПК «Импульс» устанавливает следующие значения для определения титруемой кислотности (табл. 1).

При необходимости программу для работы с BNC-модулем можно скорректировать таким образом, чтобы на дисплей прибора выводился показатель кислотности в градусах Тернера. Для этого следует написать функциональный блок кода вида «try...catch», который будет выводить значение кислотности молока на основании полученного pH, сравнивая его с заложенными в программу значениями таблицы.

Подобная методика неудобна и не гарантирует точного определения значения показателя. Нами разработан специализированный программный модуль, позволяющий в автоматическом режиме определять и значение водородного показателя, и градус Тернера. Интерфейс модуля представлен на рисунке 2.

Модуль принимает значение сопротивления датчика, которое затем преобразует в pH и сравнивает с заложенными в программу табличными значениями титруемой кислотности. Как видно из рисунка 2, в АПК «Импульс» градусы Тернера определяются диапазонами сотых долей водородного показателя, что используется и при реализации программного модуля. Модуль находит соответствие диапазона pH со значением титруемой кислотности и информирует пользователя о текущих показателях молока и/или молочной продукции.

Само устройство является портативным и может быть оснащено модулями беспроводной передачи данных для удалённого информирования оператора производственной линии. На рисунке 3 представлен один из вариантов укладки прибора в корпус, изготавливаемого по технологии 3D-печати при помощи метода аддитивного наплавления.

Сам корпус представляет собой прямоугольную коробку из ABS-пластика с крышкой, закрепляемой на четырёх винтах с потайной головкой М3х20 мм, размерами 1620х980х760 мм, с отверстиями под разъёмы питания, передачи данных и подключения щупа, а также дисплея.

Приблизительная себестоимость разработанного проекта представляет собой совокупную стоимость всех электронных компонентов, применяемых в схеме: плата микроконтроллера Arduino UNO; преобразователь интерфейса I2C; дисплей

Таблица 1 – Критерии оценки титруемой кислотности молока в АПК «Импульс» [13]

Титруемая кислотность (Т)	Молоко цельное заготовляемое		Молоко пастеризованное		Молоко топленое	
	Пределы рН	Среднее значение рН	Пределы рН	Среднее значение рН	Пределы рН	Среднее значение рН
16	6,75–6,72	6,73	6,70–6,60	6,68	6,64–6,59	6,61
17	6,71–6,67	6,69	6,71–6,67	6,63	6,58–6,54	6,56
18	6,66–6,61	6,64	6,65–6,61	6,57	6,53–6,48	6,5
19	6,60–6,55	6,58	6,60–6,55	6,51	6,47–6,42	6,44
20	6,54–6,49	6,52	6,54–6,49	6,45	6,41–6,37	6,39
21	6,48–6,44	6,46	6,48–6,43	6,4	6,36–6,32	6,34
22	6,43–6,39	6,41	6,42–6,38	6,34	6,31–6,26	6,28
23	6,38–6,34	6,36	6,37–6,32	6,28	6,25–6,21	6,23
24	6,33–6,29	6,31	6,30–6,26	6,23	6,20–6,16	6,18
25	6,28–6,24	6,26	6,20–6,16	6,18	6,15–6,11	6,13
26	6,23–6,19	6,21	6,15–6,11	6,13	6,10–6,06	6,08
27	6,18–6,14	6,16	6,10–6,06	6,08	6,05–6,01	6,03

Определение кислотности молока

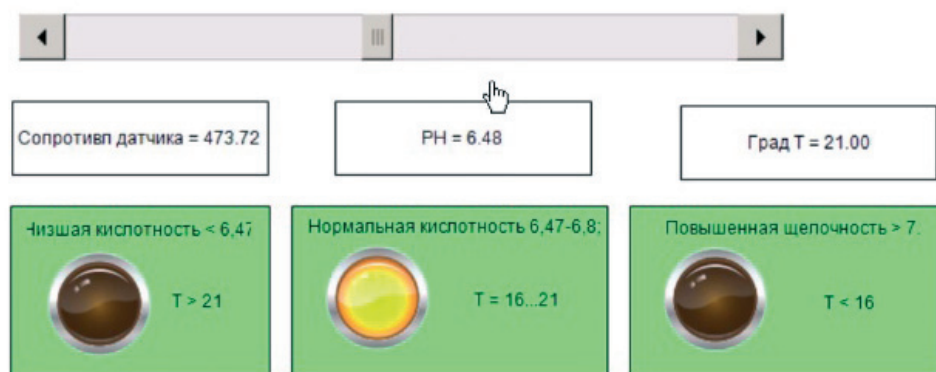


Рисунок 2 – Пример ПО, демонстрируемого на мониторе

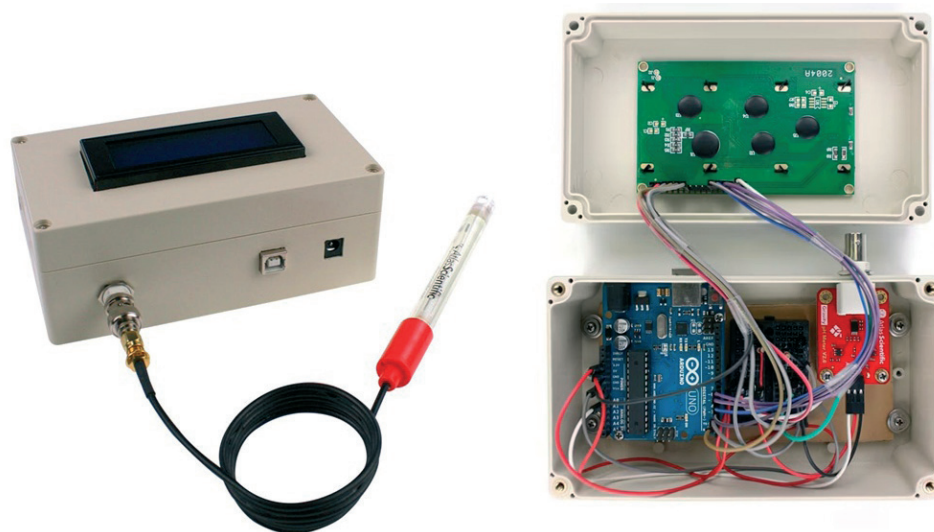


Рисунок 3 – Вариант укладки прибора в корпус

серии 1602 и датчик DFRobot Pro с BNC-модулем и щупом марки Haoshi-H-101. Стоимость корпуса рассчитывается отдельно, за основу берётся средняя цена 750 грамм ABS-пластика. На изготовление одного корпуса необходимо около 230 г. Таким образом, себестоимость прибора, по нашим подсчётам, в ценах 2023 года составит 14573 рубля.

Вывод. Предложен проект простого в изготовлении прибора с низкой себестоимостью, состоящего из доступных и легко заменяемых компонентов, при помощи которого можно автоматизировать процесс измерения кислотности на молочных производствах. Количество подобных устройств, которые возможно использовать еди-

новременно на технологической линии, ограничено лишь потребностями производства. В виду портативности и дешевизны подобного устройства они могут быть объединены в единую систему мониторинга кислотности молочной продукции. При добавлении к устройству модуля беспроводной передачи данных можно обеспечить оператора производственной линии практически мгновенным информированием об изменении уровня кислотности, что позволит принимать своевременные меры по регулированию физико-химического показателя продукции, в частности изменение рациона дойных коров или их изоляции в карантине при подозрении на заболевание.

Список источников

1. Тихомиров И. А. Современные методы контроля и управления технологическими процессами производства высококачественного молока // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2018. № 3 (31). С. 163–168. ISSN 2226-4302. EDN OZSMCD.
2. Бунькова Е. А., Баурин Ю. С. Титруемая кислотность как показатель свежести молока // Вопросы науки и образования. 2018. № 13 (25). С. 8–9. EDN XTUDPF.
3. Эленшлегер А. А., Афанасьев К. А. Молочная продуктивность и титруемая кислотность молока у коров с разной степенью нарушения минерального обмена // Ветеринарный врач. 2017. № 2. С. 48–54. EDN YLEFBJ.
4. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности молока и молочной продукции» (ТР ТС 033/2013) (с изменениями на 23 сентября 2022 года) / Принят решением Совета Евразийской экономической комиссии от 9 октября 2013 года № 67. URL: <https://docs.cntd.ru/document/499050562> (дата обращения: 16.06.2024).
5. ГОСТ 3624-92. Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности / Утвержден и введён в действие Постановлением Комитета стандартизации и метрологии СССР от 12.02.92 № 145. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200021584> (дата обращения: 16.06.2024).
6. Анализатор молока с дополнительной опцией на кислотность молока «Эксперт Профи». URL: <http://www.tehno.com/product.phtml?uid=B00120049578CB> (дата обращения: 18.09.2023).
7. Литвинович А. В., Павлова О. Ю., Дричко В. Ф. Пространственная неоднородность кислотности почв // Агрехимический вестник. 2006. № 6. С. 10.
8. What is Arduino? URL: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> (дата обращения: 15.09.2023).
9. Угловский А. С. Система управления движением мобильного робота // Вестник АПК Верхневолжья. 2024. № 2 (66). С. 98–108. doi:10.35694/YARCX.2024.66.2.013.
10. Тройка Shield: инструкция и подключение. URL: <https://wiki.amperka.ru/products:arduino-troyka-shield> (дата обращения: 18.09.2023).
11. Структор: описание и применение. URL: <https://wiki.amperka.ru/structor:%D0%BE%D0%BF%D0%B8%D1%81%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5> (дата обращения: 15.09.2023).
12. DFRobot Haoshi H-101. URL: https://wiki.dfrobot.com/Industrial_pH_electrode_SKU_FIT0348_ (дата обращения: 15.09.2023).
13. Таблица перевода pH и Тернера. URL: <http://ekomilk.ru/laboratornoe-oborudovanie-news/113> (дата обращения: 18.09.2023).

References

1. Tikhomirov I. A. Sovremennyye metody kontrolya i upravleniya tekhnologicheskimi processami proizvodstva vysokokachestvennogo moloka // Vestnik Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizacii zhivotnovodstva. 2018. № 3 (31). S. 163–168. ISSN 2226-4302. EDN OZSMCD.
2. Bun'kova E. A., Baurin Yu. S. Titruemaya kislotnost' kak pokazatel' svezhesti moloka // Voprosy nauki i obrazovaniya. 2018. № 13 (25). S. 8–9. EDN XTUDPF.
3. Elenshleger A. A., Afanas'ev K. A. Molochnaya produktivnost' i titruemaya kislotnost' moloka u korov s raznoj stepen'yu narusheniya mineral'nogo obmena // Veterinarnyj vrach. 2017. № 2. S. 48–54. EDN YLEFBJ.
4. Tekhnicheskij reglament Tamozhennogo soyuza «O bezopasnosti moloka i molochnoj produkcii» (TR TS 033/2013) (s izmeneniyami na 23 sentyabrya 2022 goda) / Prinyat resheniem Soveta Evrazijskoj ekonomicheskoy komissii ot 9 oktyabrya 2013 goda № 67. URL: <https://docs.cntd.ru/document/499050562> (data obrashcheniya: 16.06.2024).

5. GOST 3624-92. Moloko i molochnye produkty. Titrimetricheskie metody opredeleniya kislotnosti / Utverzhen i vvedyon v dejstvie Postanovleniem Komiteta standartizacii i metrologii SSSR ot 12.02.92 № 145. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200021584> (data obrashcheniya: 16.06.2024).

6. Analizator moloka s dopolnitel'noj opciej na kislotnost' moloka «Ekspert Profi». URL: <http://www.tehno.com/product.phtml?uid=B00120049578CB> (data obrashcheniya: 18.09.2023).

7. Litvinovich A. V., Pavlova O. Yu., Drichko V. F. Prostranstvennaya neodnorodnost' kislotnosti pochv // Agrohimicheskij vestnik. 2006. № 6. S. 10.

8. What is Arduino? URL: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction> (data obrashcheniya: 15.09.2023).

9. Uglovskij A. S. Sistema upravleniya dvizheniem mobil'nogo robota // Vestnik APK Verhnevolzh'ya. 2024. № 2 (66). S. 98–108. doi:10.35694/YARCX.2024.66.2.013.

10. Troyka Shield: instrukciya i podklyuchenie. URL: <https://wiki.amperka.ru/products/arduino-troyka-shield> (data obrashcheniya: 18.09.2023).

11. Struktur: opisanie i primenenie. URL: <https://wiki.amperka.ru/struktur:%D0%BE%D0%BF%D0%B8%D1%81%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B5> (data obrashcheniya: 15.09.2023).

12. DFRobot Haoshi H-101. URL: https://wiki.dfrobot.com/Industrial_pH_electrode_SKU_FIT0348_ (data obrashcheniya: 15.09.2023).

13. Tablica perevoda pH i Ternera. URL: <http://ekomilk.ru/laboratornoe-oborudovanie-news/113> (data obrashcheniya: 18.09.2023).

Сведения об авторах

Артем Викторович Кузин – аспирант инженерного факультета, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет», spin-код: 4720-4520.

Ирина Марковна Соцкая – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технического сервиса, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет», spin-код: 9559-1004.

Роман Дмитриевич Адакин – доцент кафедры технического сервиса, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный аграрный университет», spin-код: 2792-4702.

Information about the authors

Artem V. Cuzin – Postgraduate student of the Faculty of Engineering, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agrarian University", spin-code: 4720-4520.

Irina M. Sotskaya – Candidate of Technical Sciences, Docent, Head of the Department of Technical Services, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agrarian University", spin-code: 9559-1004.

Roman D. Adakin – Associate Professor of the Department of Technical Services, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Agrarian University", spin-code: 2792-4702.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.