



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2022-20-4-80-87>

Оригинальная статья  
Original paper

УДК 334.029.3

## РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ СЕТИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

В.А. ВИШНЯКОВ, ХУ ЧЖИФЭН

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
(г. Минск, Республика Беларусь)*

*Поступила в редакцию 29 ноября 2021*

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2022

**Аннотация.** Целью статьи является анализ методов, подходов, средств технологии Интернета вещей (Internet of Things (IoT)) для контроля качества продукции. Задачами статьи являются: анализ проблем управления молочной фермой, разработка структуры сети IoT для анализа качества молока, разработка алгоритма работы сети IoT контроля качества молока, оптимизация выбора протоколов сети IoT. Для функционирования молочной фермы рассмотрены два типа управления: производством и процессами. Для реализации управления молочной фермой по технологии 4.0 предложено использование сети IoT, в которой рассмотрены различные протоколы организации связи. Предложена структура сети IoT четырехуровневого управления молочной фермой, которая включает анализаторы, шлюз, облачную платформу и различные приложения для фермеров и операторов. Приведен обобщенный алгоритм контроля качества молока на ферме на основе разработанной структуры сети IoT, который включает прием информации от анализаторов, передачу ее через шлюз в облачную платформу для хранения и интеллектуальной обработки, отображение результатов через приложения операторов. Рассмотрено также применение интеллектуальных алгоритмов для управления фермой: обработки данных и обучения – ML, обработки знаний – DT, обеспечения безопасности – FL. Выполнен процесс выбора подходящего протокола сети для контроля молочной фермы с использованием метода анализа иерархий, в котором используются оценки экспертов, соответствующие четырем показателям сети: скорость передачи, расстояние, частота и безопасность. Сформулированные подходы могут быть применимы в различных производственных процессах для мониторинга качества продукции.

**Ключевые слова:** технология IoT, протоколы, структура сети, алгоритмы обработки, оптимизация.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования.** Вишняков В.А., Чжифэн Ху. Разработка и оптимизация сети Интернета вещей для мониторинга качества продукции. Доклады БГУИР. 2022; 20(4): 80-87.

## DEVELOPMENT AND OPTIMIZATION OF THE INTERNET OF THINGS NETWORK FOR PRODUCT QUALITY MONITORING

ULADZIMIR A. VISHNIAKOU, HU ZIFENG

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)*

*Submitted 29 November 2021*

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2022

**Abstract.** The purpose of the article is to analyze methods, approaches and means of Internet of Things (IoT) technology for product quality control. The objectives of the article are: analysis of dairy farm management problems, development of the structure of the IoT network for milk quality analysis, development of an algorithm for the operation of the IoT milk quality control network, optimization of IoT network protocols choice. Two types of management are considered for the functioning of a dairy farm: production and processes. To implement dairy farm management using 4.0 technology, the use of an IoT network is proposed, in which various communication protocols are considered. The structure of the IoT network of four-level dairy farm management is proposed, which includes analyzers, a gateway, a cloud platform and various applications for farmers and operators. A generalized algorithm for milk quality control on a farm based on the developed IoT network structure is presented, which includes receiving information from analyzers, transmitting it through a gateway to a cloud platform for storage and intelligent processing, displaying results through operator applications. The application of intelligent algorithms for farm management is also considered: data processing and training – ML, knowledge processing – DT, security – FL. The process of selecting a suitable network protocol for monitoring a dairy farm is carried out using the hierarchy analysis method, which uses expert estimates corresponding to four network indicators: transmission speed, distance, frequency and security. The formulated approaches can be applied in various production processes to monitor product quality.

**Keywords:** IoT technology, protocols, network structure, processing algorithms, optimization.

**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interests.

**For citation.** Vishniakou U.A., Zhifeng Hu. Development and Optimization of the Internet of Things Network for Product Quality Monitoring. Doklady BGUIR. 2022; 20(4): 80-87.

### Введение

Для демонстрации функционирования сети Интернета вещей (IoT) как эффективного инструмента, который относится к автоматизации 4.0, рассмотрим пример автоматизации молочной фермы, где используется два типа управления. Первый тип – это управление производством, второй – управление процессами. В управление производством включается контроль за технологическим оборудованием, например, доением коров в автоматическом режиме, а для обеспечения качества молока – управление интеллектуальной стерилизацией с последующим охлаждением молока [1]. В процессе управления молочной фермой используется интеллектуальный мониторинг, дневниковое наблюдение за коровами, кормление и репродуктивное управление. Интеллектуальный мониторинг предназначен для анализа местоположения и состояния дойных коров. Наблюдение за коровой включает в себя слежение за ее содержанием, поведением и физическим здоровьем. Управление питанием и поддержанием жизнедеятельности коров включает в себя обеспечение кормами и контроль за состоянием животного. Для этих двух типов управления молочной фермой некоторые исследователи использовали сети IoT в этой области [1–3].

В статье рассматриваются: структура сети Интернета вещей для мониторинга качества продукции (молока); используемые протоколы в такой сети; оптимизация выбора одного из используемых протоколов; структура алгоритма контроля качества молока; применение известных интеллектуальных алгоритмов для управления фермой.

## Протоколы сети IoT для управления молочной фермой

В зависимости от характеристики молочных ферм (размера, количества коров, регионов расположения) сеть IoT может решать разнообразные проблемы. Поэтому вопрос о том, как эффективно использовать технологии Интернета вещей на молочных фермах, является одним из актуальных вопросов исследований в этой области.

Первое, что необходимо учитывать, – это стандарты связи в сетях IoT. На небольшом расстоянии в сети используют такие стандарты связи, как Bluetooth, ZigBee и менее популярные протоколы: Thread, WirelessHART, MiWi, SNAP [4]. Все эти стандарты связи используют нелицензионные полосы радиочастотного спектра из так называемого ISM-диапазона (Industrial, Science, Medicine), выделенного для нужд промышленности, медицинского и научного оборудования. На практике этот диапазон частот, с учетом принятых для него ограничений, также используется для организации каналов связи внутри сот и кластеров сотовых сетей IoT. Для дальних расстояний используются протоколы Wi-Max и LTE [5]. Некоторые протоколы связи, используемые в сетях Интернета вещей, представлены в табл. 1.

**Таблица 1.** Параметры протоколов связи в сетях  
**Table 1.** Parameters of communication protocols in networks

Имя протокола / Name of protocols	Скорость передачи / Transmission rate	Частота / Frequency	Расстояние / Distance
RFID	424 Кб/с	135 КГц	>50 см
	–	13,56 МГц	>1 м
		866–960 МГц	>3 м
		2,4 ГГц	>1,5 м
NFC	424 Кб/с	2,45 ГГц	<2 м
ZigBee	20/10 Кб/с – 256 Кб/с	900 МГц / 2,4 ГГц	10 м
Bluetooth	1 Мб/с	2,4 ГГц	10 м
BLE	10 Мб/с	2,4 ГГц	>10 м
UWB	50 Мб/с	broadband	30 м
Wi-Fi (IEEE 802/11ac)	до 6,77 Гб/с	2,4/5 GHz	100 м
Mobile networks 3G/4G (LTE)	до 150 Мб/с	800/900/1800/2400 МГц	более 10 км

Большинство стандартов для систем беспроводной связи малого радиуса действия называют персональной сетью (PAN). Такие сети имеют радиус покрытия от 10 до 30 м. Этот вид сети может использоваться для подключения персональных электронных устройств одного пользователя (телефонов, компьютеров, мониторов, ноутбуков). Иногда персональная сеть малого радиуса действия может быть оптимизирована для определенных приложений, называемых «профили приложений».

Маломощная глобальная сеть – энергоэффективная сеть дальнего действия (LPWAN) – может использоваться для обеспечения больших расстояний от объектов мониторинга до служб обработки [5]. Поэтому такая сеть Интернета вещей может быть применена на крупномасштабной молочной ферме для передачи данных о состоянии коров и качества продукции. Эта сеть использует радиочастоты в нелицензионном диапазоне 30 – 300 МГц, 300 МГц – 3 ГГц и 800 – 930 МГц.

## Структура сети IoT для управления молочной фермой

Для описания сети Интернета вещей используем мультиагентный подход [6]. Ее архитектура включает уровень восприятия, сетевой уровень, уровень промежуточного программного обеспечения, уровень приложений и бизнес-уровень. Но концептуально IoT может принадлежать к сетям следующего поколения (NGN), поэтому ее структура аналогична четырехуровневой сети NGN, которая включает интеллектуальные датчики, транспортную среду, сервисы и приложения [7].

Самый низкий уровень структуры сети IoT состоит из интеллектуальных объектов, интегрированных с датчиками. Датчики могут использоваться для оцифровки различных показателей молочной фермы, таких как местоположение, физическое состояние и показатели питания молочной коровы, а также погода, температура, влажность на молочной ферме.

Большой объем данных (температура, местоположение, данные коров, показатели качества молока), собираемых датчиками, требует использование надежной и высокопроизводительной беспроводной сетевой инфраструктуры для передачи. Это осуществляется на сетевом уровне.

Уровень обслуживания содержит набор информационных услуг: в IoT могут использоваться автоматизированные технологические и бизнес-операции, поддержка операционной и бизнес-деятельности (OSS/BSS – система поддержки операций/система поддержки бизнеса), некоторые методы обработки информации (статистика, предварительная обработка данных, извлечение функций и прогнозная аналитика и т. д.), хранение данных, информационная безопасность, бизнес-правила и бизнес-процесс управления молочной фермой.

На четвертом уровне, называемом прикладным, существуют различные типы приложений в системе Интернета вещей, касающейся молочной фермы. Для разных подсистем существуют различные типы приложений для секторов молочных ферм. Основываясь на приведенном выше описании, структуру IoT для управления молочной фермой можно представить в виде, показанном на рис. 1. Анализаторы и микроконтроллер относятся к уровню восприятия, шлюз – к сетевому уровню, облачная платформа обеспечивает уровень обслуживания, а мобильные приложения – к прикладному.

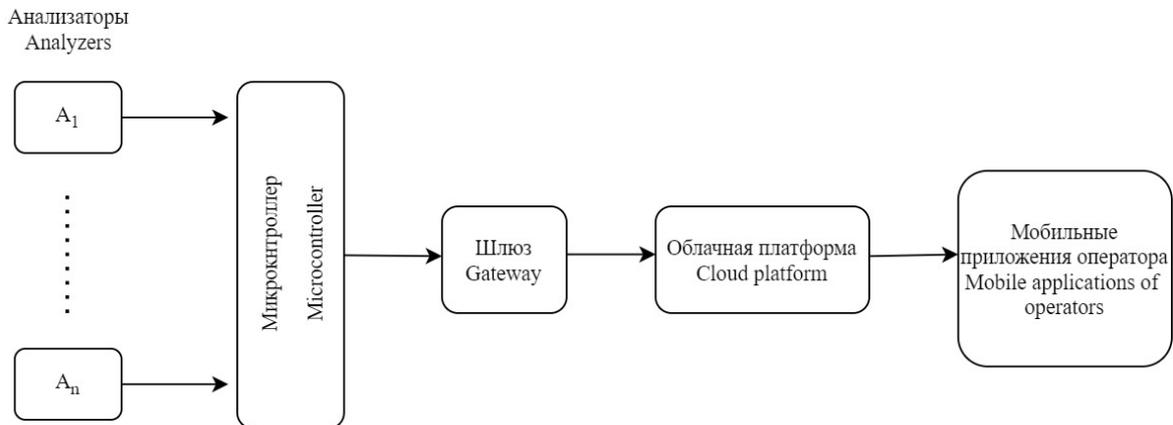


Рис. 1. Структура IoT для управления фермой  
Fig. 1. IoT structure for farm management

### Алгоритмы сети IoT для управления молочной фермой

Для решения конкретных вопросов управления молочными фермами, например, таких как контроль качества молока, необходимо контролировать его ключевые показатели (лактоза, жир, хлориды, белок). Обобщенный алгоритм контроля качества молока для предложенной структуры IoT состоит из этапов, описанных ниже.

1. Портативные анализаторы качества молока молочной фермы применяются как датчики показателей молока. Эти показатели молока будут преобразованы в передаваемые данные.

2. Перед отправкой данных датчиков в сеть Интернета вещей устройство портативных анализаторов должно быть проверено платформой Интернета вещей (авторизация службы). Если проверка не будет успешной, то менеджеру будет отправлен запрос на проверку до тех пор, пока идентификаторы устройств не будут исправлены.

3. Анализаторы молока через микроконтроллер посылают результаты на шлюз (вместо компьютера или принтера, через последовательный порт, как в большинстве ферм). Шлюз передает полученные показатели качества молока на облачную платформу (ОП). В этом процессе применяются различные сетевые протоколы.

4. В базе данных ОП обычно хранятся виды индикаторных данных, полученных от анализаторов молока. В базе данных хранятся данные, полученные с разных молочных ферм, взятые качественные характеристики по времени (количество, время суток, проверенные параметры и т.д.). База знаний содержит правила оценки качества молока в зависимости от содержания коров.

5. Данные отправляются решателю, который на основе принятых показателей и правил обработки показателей качества из базы знаний выдает решения по определенным параметрам качества. Эти решения также заносятся в базу данных.

6. В соответствии с различными типами полученных данных обработчик правил выполняет действия: классифицирует данные; сохраняет данные в базе данных; отправляет данные в аналитическую систему; отправляет команды предварительной обработки и т. д.

7. На мобильных устройствах операторов установлены приложения, которые позволяют фермеру или оператору проверять интересующую их информацию из базы данных ОП через сайт.

8. Сайт служит средством отображения полученных результатов по качеству молока для менеджера.

Алгоритм машинного обучения (ML) зависит от больших наборов данных, но, поскольку доступность данных низкая, что связано с коммерческой конкуренцией или конфиденциальностью информации (молочные фермеры, как правило, не желают делиться соответствующими данными), возникают трудности в интегрировании с источниками данных для алгоритма ML [8]. Цифровой близнец (DT) может быть хорошей идеей для решения этой проблемы. DT – это надежная стратегия переноса знаний из виртуального пространства в физическое. Известно, что алгоритм DT уже реализован на сельскохозяйственных фермах [9].

Для управления молочной фермой может быть применен алгоритм федерального обучения (FL) [10] благодаря его преимуществам в обеспечении информационной безопасности во время обмена большими данными и защиты конфиденциальности терминальных и персональных данных. Обсуждаются альтернативные решения проблемы, основанные на совместном обучении с сохранением конфиденциальности, и приводится набор сценариев, демонстрирующих их преимущества как для фермеров, так и для бизнеса. Таким образом, FL является подходящим алгоритмом для решения проблемы отсутствия ограничений безопасности и конфиденциальности данных молочной фермы.

### Оптимизация протоколов сети IoT для контроля качества продукции

Метод анализа иерархии (МАИ) [11] – это метод организации и анализа сложных решений с использованием математики и психологии. В его основе лежат три составляющие: конечная цель (или проблема, которую необходимо решить), возможные решения, называемые альтернативами и критерии, по которым оцениваются альтернативы. Рассмотрим применение МАИ для оптимизации использования протоколов в сети IoT. Для различных сетевых протоколов характерны четыре показателя: скорость передачи, полоса частот, дальность (расстояние) связи и безопасность. Шкала оценки экспертами в МАИ содержит значения от 1 до 9 [12]. В соответствии со шкалой может быть построена матрица оценок экспертов, соответствующих четырем основным показателям протоколов сети, как показано в табл. 2.

**Таблица 2.** Матрица оценок экспертов, соответствующих четырем сетевым показателям

**Table 2.** Matrix of expert assessments corresponding to 4 network indicators

Цель – выбрать подходящую сеть / The goal is to choose a suitable network	Скорость передачи / Transmission rate	Диапазон частот / Frequency range	Расстояние связи / Communication distance	Безопасность / Security
Скорость передачи	1	4	1/3	1/2
Диапазон частот	1/4	1	1/7	1/3
Расстояние связи	3	7	1	3
Безопасность	2	3	1/3	1

Далее, для определения веса каждого показателя используется метод среднего арифметического. При расчете веса каждого показателя табл. 2 необходимо нормализовать оценки по столбцам. В результате получаем значение веса каждого показателя (табл. 3).

**Таблица 3.** Значение веса каждого показателя  
**Table 3.** The weight value of each indicator

Цель – выбрать подходящую сеть / The goal is to choose a suitable network	Скорость передачи / Transmission rate	Диапазон частот / Frequency range	Расстояние связи / Communication distance	Безопасность / Security	Значение веса $\omega$ / Weight value $\omega$
Скорость передачи	0,16	0,27	0,18	0,10	0,1775
Диапазон частот	0,04	0,07	0,08	0,07	0,065
Расстояние связи	0,48	0,47	0,55	0,62	0,53
Безопасность	0,32	0,20	0,18	0,21	0,2275

Для оценки обоснованности полученных весов показателей требуется провести одноразовую проверку. Сначала необходимо найти максимальное собственное значение в соответствии со следующей формулой:

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{[A\omega]_i}{n\omega_i}, \quad (1)$$

где  $\lambda_{\max}$  – максимальное собственное значение;  $n$  – порядок матрицы;  $A\omega$  – матрица весов четырех показателей, соответствующая значению веса каждого показателя. В табл. 4 представлены значения  $A\omega$ .

**Таблица 4.** Значение  $A\omega$   
**Table 4.** The value of  $A\omega$

Цель – выбрать подходящую сеть / The goal is to choose a suitable network	Скорость передачи / Transmission rate	Диапазон частот / Frequency range	Расстояние связи / Communication distance	Безопасность / Security	Значение веса $A\omega$ / Weight value $A\omega$	Значение $A\omega$ / Value of $A\omega$
Скорость передачи	0,16	0,27	0,18	0,10	0,1775	0,73
Диапазон частот	0,04	0,07	0,08	0,07	0,065	0,26
Расстояние связи	0,48	0,47	0,55	0,62	0,53	2,2
Безопасность	0,32	0,20	0,18	0,21	0,2275	0,95

Тогда получаем следующее значение  $\lambda_{\max}$ :

$$\lambda_{\max} = 4,109. \quad (2)$$

Значение индекса одноразовой проверки  $CI$  может быть рассчитано по следующей формуле:

$$CI = (\lambda - n) / (n - 1) = 0,036. \quad (3)$$

Средний индекс случайной согласованности  $RI$  находим по табл. 5, используемой в МАИ.

**Таблица 5.** Средний индекс случайной согласованности  $RI$   
**Table 5.** Average random consistency  $RI$

$N$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$RI$	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

Значение  $RI$  выбираем равным 0,90 (табл. 5), поскольку порядок  $n$  матрицы равен 4.

Значение коэффициента согласованности может быть получено по формуле (4). Когда значение  $CR$  меньше 0,1, согласованность матрицы считается приемлемой.

$$CR = \frac{CI}{RI} = 0,04 < 0,1. \quad (4)$$

Таким образом, анализ процесса иерархии вышеуказанных показателей является обоснованным. В соответствии с весом полученных показателей можно считать, что диапазон передачи сети имеет наивысший приоритет, полоса частот передачи имеет наименьший

приоритет, а приоритет скорости передачи и безопасности находится между двумя вышеуказанными показателями.

Основываясь на приведенном выше анализе, рассматривается маломощная глобальная сеть – энергоэффективная сеть дальнего действия, например, сеть LTE 4-го поколения, которая выбрана для передачи ресурсов данных молока. Она предназначена для использования менеджерами ферм. Следует отметить, что в ее составе имеется технология CIoT-LTE-M, которая в рамках LTE имеет низкую скорость передачи данных, но большое покрытие.

### Заключение

На основе мультиагентной модели предложена четырехуровневая структура Интернета вещей для управления молочной фермой, включающая анализаторы, шлюз, облачную платформу и различные приложения для операторов.

В процесс управления молочными фермами с использованием сети IoT разработан обобщенный алгоритм контроля качества продукции. В связи с недостатком высококачественных и надежных данных от молочной фермы, предложено применить алгоритм DT. Для повышения безопасности и конфиденциальности данных от молочных ферм целесообразно использовать алгоритм FL.

Выполнен процесс выбора подходящего протокола сети для контроля параметров молока на ферме с использованием метода анализа иерархий, в котором используются оценки экспертов, соответствующие четырем показателям сети: скорости передачи, расстоянию, частоте и безопасности.

### Список литературы

1. Vate-U-Lan P., Quigley D., Masouras P. Smart dairy farming through the Internet of Things (IoT). *Asian International Journal of Social Sciences*. 2017;7:23-36.
2. Latino M., Corallo A., Menegoli M., Nuzzo B. Agriculture 4.0 as Enabler of Sustainable Agri-Food: A Proposed Taxonomy. *IEEE Transactions on Engineer*. 2021;8:1-20.
3. Akbar M.O., Shahbaz khan M.S., Ali M.J., Azfar H., Qaiser G., Pasha M., Pasha U., Missen A.S. Akhtar N. IoT for Development of Smart Dairy Farming. *Journal of Food Quality*. 2020;2:1-8.
4. Рентюк В.И. Краткий путеводитель по беспроводным технологиям «Интернета вещей». Часть 2. Ближний радиус действия. *Control Engineering*. 2018;1(73):51-57.
5. Рентюк В.И. Краткий путеводитель по беспроводным технологиям «Интернета вещей». Часть 4. Дальний радиус действия. *Control Engineering*. 2018;3(75):82-87.
6. Shoham Y., Leyton-Brown K. *Multiagent systems: algorithmic, game-theoretic, and logical foundations*. Cambridge University Press; 2009.
7. Вишняков В.А., Аль-Масри А.Х., Аль-Хаджи С.К. Организация управления и структуры в локальных сетях интернет вещей. *Системный анализ и прикладная информатика*. 2020;2:11-16.
8. Кошкаров А.В. Методы машинного обучения в цифровом сельском хозяйстве: алгоритмы и кейсы. *Международный журнал перспективных исследований*. 2018;8(1):11-26.
9. Pylianidis C., Osinga S., Athanasiadis A. Introducing digital twins to agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021;2:1-25.
10. Gengler N. Symposium review: Challenges and opportunities for evaluating and using the genetic potential of dairy cattle in the new era of sensor data from automation. *Journal of Dairy Science*. 2019;102(6):5756-5763.
11. Саати Т. *Принятие решений. Метод анализа иерархий*. Москва: Радио и связь; 2003.

### References

1. Vate-U-Lan P., Quigley D., Masouras P. Smart dairy farming through the Internet of Things (IoT). *Asian International Journal of Social Sciences*. 2017;7:23-36.
2. Latino M., Corallo A., Menegoli M., Nuzzo B. Agriculture 4.0 as Enabler of Sustainable Agri-Food: A Proposed Taxonomy. *IEEE Transactions on Engineer*. 2021;8:1-20.
3. Akbar M.O., Shahbaz khan M.S., Ali M.J., Azfar H., Qaiser G., Pasha M., Pasha U., Missen A.S. Akhtar N. IoT for Development of Smart Dairy Farming. *Journal of Food Quality*. 2020;2:1-8.
4. Rentyuk V.I. [Brief guide to wireless technologies of the Internet of things. Part 2. Short range]. *Control Engineering*. 2018;1:51-57. (In Russ)

5. Rentyuk, V.I. [Brief guide to wireless technologies of the Internet of things. Part 4. Long range]. *Control Engineering*. 2018;3:82-87. (In Russ)
6. Shoham Y, Leyton-Brown K. *Multiagent systems: algorithmic, game-theoretic, and logical foundations*. Cambridge University Press; 2009.
7. Visniakou U.A., Al-Masri A.H. Al-Hajj S.K. [Organization of management and structure in local networks internet of things]. *System analysis and application informatics*. 2020;2:11-16. (In Russ)
8. Koshkarov A.V. [Machine learning methods in digital agriculture: algorithms and cases]. *International Journal of Advanced Studies*. 2018;8(1):11-26. (In Russ)
9. Pylianidis C., Osinga S., Athanasiadis A. Introducing digital twins to agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2021;2:1-25.
10. Gengler N. Symposium review: Challenges and opportunities for evaluating and using the genetic potential of dairy cattle in the new era of sensor data from automation. *Journal of Dairy Science*. 2019;102(6):5756-5763.
11. Saati T. [*Decision-making. Hierarchy Analysis method*]. Moscow: Radio i svjas; 2003. (In Russ)

### Вклад авторов

Вишняков В. А. детализировал структуру сети IoT и на ее основе разработал обобщенный алгоритм контроля качества продукции ферм.

Чжифэн Ху выявил проблемы передачи информации в сети IoT контроля качества продукции и провел оптимизацию протоколов передачи информации с использованием метода анализа иерархий.

### Authors' contribution

Vishniakou U.A. detailed the structure of the IoT network and on it base proposed the generalized algorithm for quality control of farm products.

Zifeng Hu identified the problems of information transmission in the IoT network of product quality control and optimized information transmission protocols using the hierarchy analysis method.

### Сведения об авторах

**Вишняков В.А.**, д.т.н., профессор, профессор кафедры инфокоммуникационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

**Чжифэн Ху**, магистрант кафедры инфокоммуникационных технологий Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

### Information about the authors

**Vishniakou U.A.**, Dr. of Sci. (Tech.), Professor, Professor at the Department of Infocommunication Technologies of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

**Zifeng Hu**, Master's Student at the Department of Infocommunication Technologies of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

### Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. П. Бровки, 6,  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники;  
тел. +375-44-486-71-82;  
e-mail: vish@bsuir.by  
Вишняков Владимир Анатольевич

### Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,  
Minsk, P. Brovka St., 6,  
Belarusian State University  
of Informatics and Radioelectronics;  
tel. +375-44-486-71-82;  
e-mail: vish@bsuir.by  
Vishniakou Uladzimir Anatolievich