

DOI: 10.47026/1810-1909-2025-2-72-82

УДК 621.396.49

ББК 31.27-05

Д.А. ИГНАТЬЕВ

СИСТЕМА СБОРА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Ключевые слова: сбор технологической информации, электротехнические комплексы, программируемый микроконтроллер, радиорелейная связь, система передачи данных, узел связи.

Применение устаревших систем технологической связи типа РРС «Искра», находящихся в эксплуатации в настоящий момент на предприятиях трубопроводного транспорта газа и нефти, не позволяет контролировать технологические параметры удаленных объектов систем связи и электротехнических комплексов. Проблема также заключается в необходимости обеспечения диспетчерского контроля и поддержки сети с максимальной степенью автономности работы. Необходимо осуществлять мониторинг, анализ нештатных ситуаций и управление безопасностью, при этом нужно снизить объем передаваемой информации.

Цель исследования – разработка интегрированной автоматизированной распределенной системы сбора технологической информации с объектов предприятий газовой отрасли.

Материалы и методы. Алгоритмы реализованы в программе, написанной на языке программирования C++ для микроконтроллеров Atmega 328. Практическая проверка работоспособности системы проводилась на объектах Чебоксарского линейного производственного управления предприятия ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород».

Результаты. Для реализации сбора технологической информации был выбран сетевой протокол Modbus и микроконтроллер Atmega 328. С целью повышения автономности системы сбора технологической информации был сокращен объем передаваемой информации, разработана структура программного комплекса и написан код программы. Выполнено интерфейсное соединение существующего оборудования связи и программируемого микроконтроллера. Таким образом, была успешно реализована система автоматизированного сбора технологической информации на объектах Чебоксарского линейно-производственного управления магистральных газопроводов. Принятые решения на основании поступающей информации передаются в виде управляющих команд непосредственно на удаленные исполнительные устройства, обеспечивая надежность функционирования всей инфраструктуры.

Выводы. Реализация предложенного метода удаленного сбора технологической информации позволила обеспечить оперативность принятия мер по ликвидации нарушений в электротехнических комплексах и системах связи.

Введение. В системах сбора «технологической информации» используются устройства и датчики, которые объединяются в сеть для обеспечения процесса сбора данных. Получаемые данные от удаленных объектов передаются в диспетчерский пункт на сервер Чебоксарского узла связи, где хранятся, обрабатываются и визуализируются. Диспетчеры могут просматривать прошлые данные, чтобы выявлять тенденции и принимать обоснованные решения для оптимизации процессов [2, 3]. Технологические системы сбора информации широко используются в энергетике, транспорте, связи, промышленности и других отраслях [1, 4, 5–9].

В настоящее время в Чебоксарском линейном производственном управлении магистральных газопроводов, принадлежащем газотранспортной системе ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород», для решения задач селекторной и диспетчерской связи используется система технологической связи «Искра».

Часть данной системы, эксплуатируемой на территории Чувашской Республики (рис. 1), состоит из промежуточных радиорелейных станций (ПРС) ПРС-11, ПРС-10, ПРС-7 и узлов радиорелейной связи (УРС) УРС-9, УРС-8.



Рис. 1. Карта размещения ПРС и УРС системы технической связи «Искра» Чебоксарского линейного производственного управления магистральными газопроводами

Так как система «Искра» вводилась в эксплуатацию в составе оборудования связи в 80-х гг. XX в., она не позволяет осуществлять сбор, обработку и диспетчерский контроль технологических данных с ПРС и питающих их вдоль-трассовых электротехнологических линий, расположенных на удаленных объектах [6]. Проблема также заключается в необходимости обеспечения диспетчерского контроля технологических параметров.

Согласно требованиям ГОСТ Р 71934-2025¹, вступившего в силу 1 марта 2025 г., в обязательном порядке необходимо контролировать состояние периметра ПРС, открытия дверей и состояния пожарной сигнализации. Для решения данной задачи можно применять программируемые промышленные микроконтроллеры, которые используются для приема, обработки и передачи сигналов, поступающих от удаленных объектов, источников основного и резервного питания, и содержащие данные об уровне заряда аккумуляторных батарей, открытии/закрытии дверей бокса станции, о состоянии пожарной сигнализации, систем связи, аварийного дизельного генератора и др. Соответствующая информация может быть использована для вывода параметров технических систем на диспетчерский модуль управления, оперативного учета и дальнейшего анализа. Поэтому необходимо осуществлять мониторинг, анализ нештатных ситуаций и управление безопасностью, при этом нужно снизить объем передаваемой информации системой сбора технологических параметров (учитывать только критические изменения поступающих данных о параметрах).

Цель работы – разработка интегрированной автоматизированной распределенной системы сбора технологической информации с объектов предприятий газовой отрасли.

¹ ГОСТ Р 71934-2025. Системы тревожной сигнализации. Системы оповещения при угрозе совершения или совершения террористического акта. Общие технические требования. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2025. 12 с.

Материалы и методы. В работе использовались методы математического моделирования. Проводимые исследования базируются на теории массового обслуживания, математической статистике, методах моделирования и натуральных экспериментах. Компьютерная модель снятия показаний технологических параметров реализована в виде программы на языке C++.

Для повышения автономности системы сбора технологической информации при обработке и передаче аналоговых величин был сокращен объем передаваемой информации за счет уменьшения числа передач при сохранении постоянной частоты дискретизации. Вначале микроконтроллер, расположенный на удаленном объекте, собирает и отправляет на сервер, расположенный в диспетчерской, два первых измерения $x[0]$ и $x[1]$ в моменты времени t_0 и t_1 . Значения всех измерений и время, когда они были получены, сохраняются. Затем вычисляется разница (d) между последовательными измерениями по формуле

$$d[0] = x[1] - x[0]. \quad (1)$$

Далее вычисляется предсказание значения следующего измерения по формуле

$$x'[k] = x'[k-1] + d[0], \quad (2)$$

которое сравнивается с реальным значением $x''[k]$. Если разница между ними не превышает порога ошибки, заданного пользователем, реальное значение не передается в диспетчерский пункт.

Результаты исследования. Для реализации был выбран сетевой протокол Modbus, так как он специально разработан для передачи данных между удаленными объектами. Обмен информации между ПРС и УРС требует небольшой размер кода и объем передаваемой информации, так как есть ограничения по пропускной способности каналов [5]. К примеру, для реализации другого протокола, такого как SNMP, необходимы серверы и зарубежное программное обеспечение, применение которого, согласно Указу Президента Российской Федерации от 30 марта 2022 г. № 166¹, запрещено на объектах энергетической инфраструктуры.

Выбор микроконтроллера Atmega 328 основан на том, что он соответствует всем требованиям внутреннего стандарта эксплуатирующей организации СТО Газпром 097-2011², таким как:

- легкость интегрирования с различными модулями и компонентами;
- возможность быстро наращивать функциональность устройства;
- низкое энергопотребление, возможность работы от устройства электропитания связи (УЭПС) и аккумуляторной батареи.

Данный микроконтроллер в процессе эксплуатации позволяет вносить изменения в программный код при необходимости введения дополнительных контролируемых параметров. Кроме того, данный микроконтроллер поддерживает разработку на отечественном программном обеспечении Linux Red OS [7].

¹ О мерах по обеспечению технологической независимости и безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации: Указ Президента Российской Федерации от 30.03.2022 г. № 166 // Собрание законодательства Российской Федерации. 2022. № 14, ст. 2242. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/47688> (дата обращения: 20.02.2025)

² СТО Газпром 097-2011. Автоматизация. Телемеханизация. Автоматизированные системы управления технологическими процессами добычи, транспортировки и подземного хранения газа. Основные положения М.: Газпром автоматизация, 2012. 62 с.

двери ПРС; 2 – срабатывания сигнализации охраны периметра ПРС; 3 – пожарной сигнализации ПРС; 4 – неисправности пожарной сигнализации ПРС; 5 – аварии фидера № 1; 6 – аварии фидера № 2; 7 – работы/аварии дизеля. К аналоговому входу микроконтроллера подключен 8 – датчик измерения топлива в баке. Датчик с помощью ультразвуковых волн определяет расстояние до поверхности топлива, микроконтроллер преобразует расстояние в объем в баке. Все данные микроконтроллер передает по интерфейсу RS-485 на концентратор информации и далее по каналам связи на пульт управления диспетчера.

При разработке программного комплекса было учтено, что на вход системы могут поступать как цифровые, так и аналоговые данные. В качестве аналогового измерителя уровня дизельного топлива в баке на ПРС был использован ультразвуковой датчик.

Программный комплекс был разделен на три модуля (рис. 3).

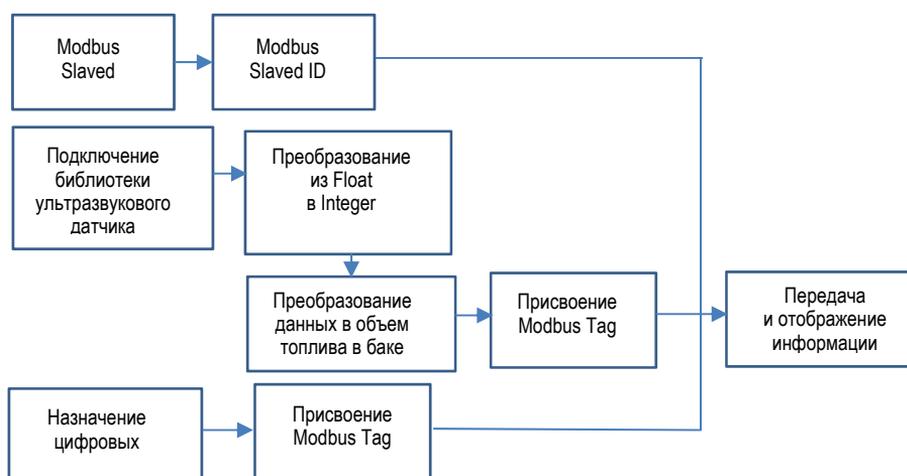


Рис. 3. Структура программного комплекса передачи технологической информации по протоколу Modbus

В первом модуле производится присвоение уникальных адресов и номеров датчикам в системе, использующей протокол Modbus. Благодаря этому модулю в системе не возникают конфликты адресации информации. Происходит выполнение таких функций, как `modbusCalcCRC()`, с помощью которой осуществляется проверка ошибок в коммуникации Modbus. Данный модуль является важной частью процесса реализации и разработки систем автоматизации и мониторинга.

Второй модуль служит для включения, преобразования и присвоения тегов для ультразвукового датчика, использующего протокол Modbus. Он включает несколько этапов (подключение датчика, его настройку, считывание данных и присвоение тегов) для использования при программировании необходимых модулей. Так как имеются данные с одного аналогового датчика (ультразвукового датчика), то для отображения информации необходимо преобразовать их в цифровой формат, чтобы они соответствовали поступающим данным с других цифровых датчиков. Эту операцию выполняет функция преобразования

из Float в Integer. Это необходимо для общей комплексной оценки и обработки получаемой информации (иначе невозможно с помощью программы передать все данные). Правильное присвоение тегов позволяет организовать и структурировать информацию для дальнейшего мониторинга и управления. Программа считывает значение ультразвукового датчика с помощью функции `pulseIn()` и преобразует его в расстояние в сантиметрах уровня топлива в баке дизельгенератора. На основе данных об уровне топлива в баке определяется его объем.

Третий модуль осуществляет мониторинг дискретного состояния (1/0, включено/выключено) оборудования (например, дверь ПРС открыта – зеленый, закрыта – красный) и их интеграцию с Modbus. Он обрабатывает коды функций Modbus (FC): считывание информации с датчиков и считывание регистров хранения. Данный модуль позволяет системе отслеживать события и изменения в реальном времени. Реализован простой и эффективный способ контроля различных устройств и сигналов. Функция `_modbusSlaveSendTxBuffer()` отправляет полученные данные на сервер диспетчера. Он эффективно обеспечивает возможность обработки данных с датчиков и хранения информации в EEPROM (ПЗУ микроконтроллера).

Схема алгоритма работы программы микроконтроллера приведена на рис. 4.

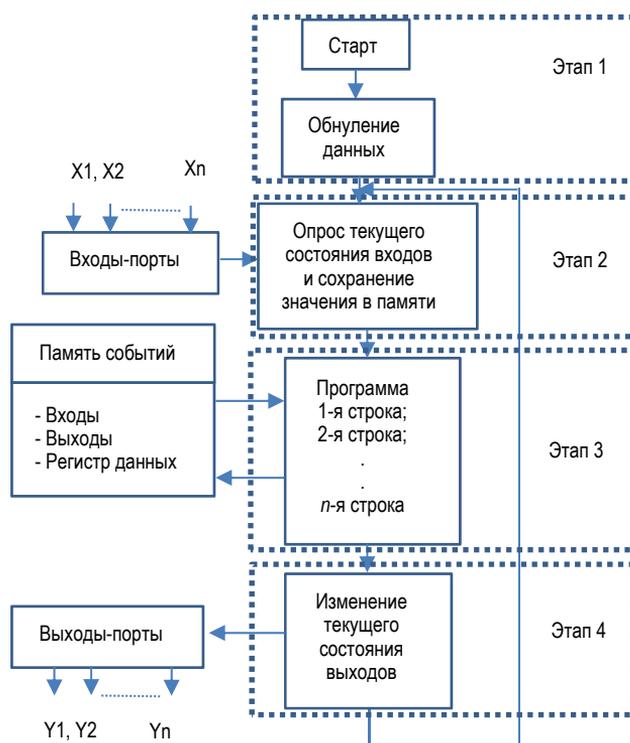


Рис. 4. Схема алгоритма работы программы микроконтроллера

Шаг первый – происходит инициализация системы. В случае сбоев по питанию или при выключении микроконтроллера программа вернется в исходное изначальное состояние.

Шаг второй – осуществляется проверка текущего состояния технологических параметров и их входов. Микроконтроллер проверяет текущее состояние входов и выполняет последовательные действия, указанные в программе. Состояние всех входов сохраняется в памяти микроконтроллера и будет использоваться при обработке третьего шага программы.

Шаг третий – выполняется программа. Микроконтроллер осуществляет сбор текущих значений всех технологических параметров и сохраняет полученные данные в памяти, выбор следующего действия программы обусловлен только особенностями обработки информации технологических процессов.

Шаг четвертый – выполняется вывод текущего состояния параметров. То есть микроконтроллер физически передает собранную информацию на сервер диспетчера, где происходит отображение собранных данных. После этого следует возврат на второй шаг.

Для считывания данных с устройства по протоколу Modbus автоматически выполняется запрос с пульта управления диспетчера к микроконтроллеру, расположенному и встроенному в систему технологической связи на ПРС (рис. 5).

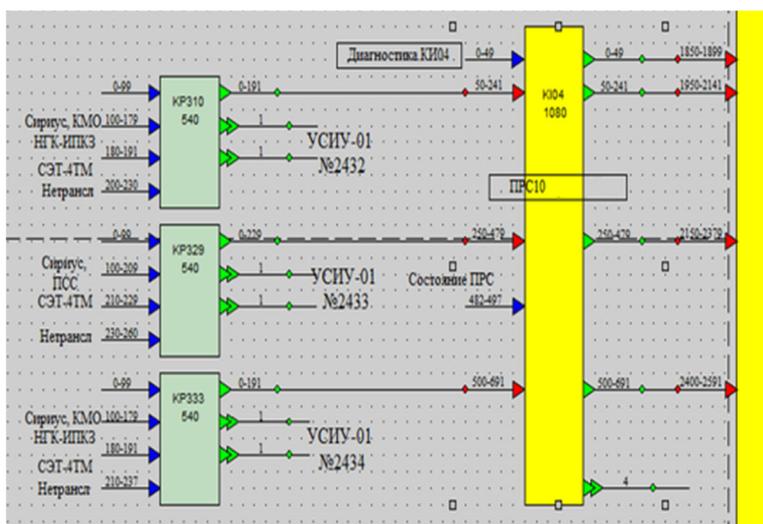


Рис. 5. Соединение микроконтроллера с оборудованием связи на ПРС-10

На рис. 5 приняты следующие обозначения: УСНУ-01 – устройство связи, которое передает и принимает сигналы с микроконтроллера, организует канал обмена информацией с устройствами выше по иерархии; КР – микроконтроллер; КИ04 1080 (обозначена желтым цветом) – общая шина, которой собирается информация со всего оборудования; СЭТ4ТМ – счетчик, который используется для получения информации о значениях напряжения, мощности и тока

потребляемого нагрузкой; Сириус, ПСС – оборудование для выдачи информации о состоянии основных и резервных источников электроэнергии; НГК-ИПКЗ – оборудование для получения информации с аккумуляторных батарей; «0-99» – входы для сбора информации с концевых датчиков (типа Геркон), пожарных датчиков (например, датчик Дыма), периметральных датчиков (инфракрасный датчик движения, емкостной датчик) и т.д.; Нетрансл – незадействованные входы для будущих возможных расширений системы датчиков; Диагностика КИ – оборудование диагностики каналов связи; № 2432, ... – входы для местного контроля параметров непосредственно на дисплее объекта (число указывает километр установки микроконтроллера с привязкой к километру магистрального газопровода, на котором он установлен); «0-191» – входы/выходы, которые предназначены для соединения кабелем микроконтроллера и ПРС. По общей шине КИ04 1080 ПРС-10 передается информация из выходов «50-241» в общую шину УРС-9.

Визуализация выходных данных ПРС-10 на экране диспетчера показана на рис. 6. Отдельно просматривать параметры станционного оборудования можно в окне контроля состояния аккумуляторных батарей и мощностей нагрузки ПРС-10 и ПРС-11 (рис. 7).

ТЕЛЕСИГНАЛИЗАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ПРС	
СВЯЗЬ С ПРС	●
ПЕРИМЕТР ПРС	●
ДВЕРЬ ПРС	●
ПОЖАР ПРС	●
Н/И ПОЖ. СИГНАЛИЗАЦИИ	●
380В ФИДЕР №1	●
380В ФИДЕР №2	●
РАБОТА	●
АВАРИЯ	●
УРОВЕНЬ ТОПЛИВА, л	158

Рис. 6. Визуализация полученной технологической информации с ПРС-10

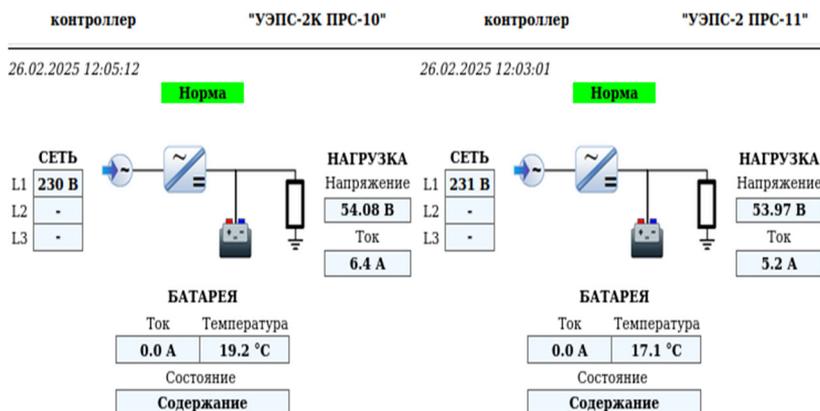


Рис. 7. Скриншот экрана компьютера диспетчера при удаленном просмотре параметров УЭПС ПРС

Выполнено соединение микроконтроллера с технологической системой связи, тем самым решена задача системы сбора технологической информации Чебоксарского ЛПУ. В зависимости от полученных данных диспетчер может осуществлять мониторинг, анализ нештатных ситуаций и управлять безопасностью объекта, принимать решения и отправлять команды на удаленные устройства.

Выводы. Для реализации предложенного метода сбора технологической информации были осуществлены выбор протокола, способа обмена информацией, микроконтроллера и отладка данной системы с имеющимся оборудованием. Применение данного метода поможет оперативно определять и устранять отклонения и неисправности устройств контроля технологических параметров при эксплуатации радиорелейного оборудования и питающих их электротехнических систем, таких как вдольтрассовые линии электроснабжения.

Стоит отметить, что до настоящего момента не было возможности дистанционного контроля данных технологических параметров. Время на ликвидацию аварий, согласно СТО Газпром 11-028-2012, составляет порядка 12 ч, предложенный метод удаленного сбора технологической информации позволил повысить оперативность принятия мер по ликвидации нарушений в электротехнических комплексах и системах связи и снизить время устранения повреждений до 4 ч на ПРС-11, ПРС-10, ПРС-7.

Литература

1. *Артемиев В.С.* Моделирование организационно-технологических систем и комплексов при генерации новых потоков // Вавиловские чтения: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. Саратов: Амирит, 2022. С. 642–646.
2. *Артемиев В.С.* Аналитика и методы математического моделирования искусственного интеллекта в автоматизации контроля и испытаний // Аграрная наука: материалы Всерос. конф. М.: Изд-во МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022. С. 340–343.
3. *Голосов П.Е., Гостев И.М.* Анализ эффективности облачной вычислительной системы, обслуживающей поток заданий с директивными сроками выполнения при множественных отказах // Программная инженерия. 2023. Т. 14, № 6. С. 278–284.
4. *Славутский А.Л.* Моделирование аварийных режимов в узле комплексной нагрузки: высокочастотные составляющие тока и напряжения // Вестник Чувашского университета. 2023. № 4. С. 151–159.
5. *Шишов О.В.* Программируемые контроллеры в системах промышленной автоматизации. М.: ИНФРА-М, 2020. 365 с.
6. Информационные технологии в радиотехнических системах / *В.А. Васин, И.Б. Власов, Ю.М. Егоров и др.* 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 768 с.
7. *Старостин А.А., Лантева А.В.* Технические средства автоматизации и управления. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. 168 с.
8. *Liu S., Huang S., Li M. et al.* Novel low-complexity low-latency orthogonal frequency division multiplexing transmitter. *Wuhan University Journal of Natural Sciences*, 2019, vol. 24, no. 1, pp. 71–78.
9. *Lin W.-L., Tseng F.-S.* Theory and Applications of Active Constellation Extension. In: *IEEE Access*, 2021, vol. 9, pp. 93111–93118. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3093103.

ИГНАТЬЕВ ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ – аспирант кафедры автоматики и управления в технических системах, Чувашский государственный университет, Россия, Чебоксары (DimaIgnatev1997@mail.ru; SPIN-код: 2890-8048).

Dmitry A. IGNATIEV

TECHNOLOGICAL INFORMATION COLLECTION SYSTEMS

Key words: technological information collection, electrical complexes, programmable controller, radio relay communication, data transmission system, communication node.

The use of the outdated technological communication systems such as Iskra, currently in operation at gas and oil pipeline transportation enterprises does not allow monitoring the technological parameters of remote objects of communication systems and electrical complexes. The problem also lies in the need to ensure centralization and support of the network with the maximum degree of autonomy of operation. It is necessary to monitor, analyze emergency situations and manage safety, while reducing the volume of transmitted information.

The purpose of the study is to develop an integrated automated distributed system for collecting technological information from gas industry facilities.

Materials and methods. The algorithms are implemented in a program written in the C++ programming language for ATmega 328 microcontrollers. A practical test of the system's performance was carried out at the facilities of the Cheboksary linear production communications center (hereinafter LPC) of Gazprom Transgaz Nizhny Novgorod LLC.

Results. To implement the collection of technological information, the Modbus network protocol and the Atmega 328 microcontroller were selected. In order to increase the autonomy of the technological information collection system, the volume of transmitted information was reduced, the structure of the software package was developed and the program code was written. An interface connection of the existing communication equipment and the programmable microcontroller was made. Thus, the automated process information collection system was successfully implemented at the facilities of the Cheboksary linear production communications center of main gas pipelines. The decisions made based on the incoming information are transmitted in the form of control commands directly to remote actuators, ensuring the reliability of the entire infrastructure.

Conclusions. The implementation of the proposed method of remote collection of technological information made it possible to ensure prompt adoption of measures to eliminate violations in electrical complexes and communication systems.

References

1. Artem'ev V.S. *Modelirovanie organizatsionno-tekhnologicheskikh sistem i kom-pleksov pri generatsii novykh potokov* [Modeling of organizational and technological systems and complexes when generating new flows]. *Vavilovskie chteniya: sb. statei Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [Proc. Int. Sci. Conf. «Vavilov readings»]*. Saratov, Amirit Publ., 2022, pp. 642–646.
2. Artem'ev V.S. *Analitika i metody matematicheskogo modelirovaniya iskusstvennogo intellekta v avtomatizatsii kontrolya i ispytanii* [Analytics and methods of mathematical modeling of artificial intelligence in automation of control and testing]. *Agrarnaya nauka: materialy Vseros. konf. [Proc. of Russ. Int. «Agricultural Science»]*. Moscow, 2022, pp. 340–343.
3. Golosov P.E., Gostev I.M. *Analiz effektivnosti oblachnoi vychislitel'noi sistemy, obsluzhivayushchei potok zadaniy s direktivnymi srokami vypolneniya pri mnozhe-stvennykh otkazakh* [Efficiency Analysis of a Cloud Computing System Serving a Task Flow with Deadlines Under Multiple Failures]. *Programmaya inzheneriya*, 2023, vol. 14, no. 6, pp. 278–284.
4. Slavutskii A.L. *Modelirovanie avariinykh rezhimov v uzle kompleksnoi nagruzki: vysokochastotnye sostavlyayushchie toka i napryazheniya* [Modeling of emergency modes in a complex load node: high-frequency components of current and voltage]. *Vestnik Chuvash State University*, 2023, no. 4, pp. 151–159.
5. Shishov O.V. *Programmiruemye kontrollery i sistemakh promyshlennoi avtomatizatsii* [Programmable controllers and industrial automation systems]. Moscow, INFRA-M Publ., 2020, 365 p.
6. Vasin V.A., Vlasov I.B., Egorov Yu.M. *Informatsionnye tekhnologii v radiotekhnicheskikh sistemakh* [Information technologies in radio engineering systems]. Moscow, 2004, 768 p.

7. Starostin A.A., Lapteva A.V. *Tekhnicheskie sredstva avtomatizatsii i upravleniya* [Technical means of automation and control]. Ekaterinburg, 2015, 168 p.

8. Liu S., Huang S., Li M. et al. Novel low-complexity low-latency orthogonal frequency division multiplexing transmitter. *Wuhan University Journal of Natural Sciences*, 2019, vol. 24, no. 1, pp. 71–78.

9. Lin W.-L., Tseng F.-S. Theory and Applications of Active Constellation Extension. In: *IEEE Access*, 2021, vol. 9, pp. 93111–93118. DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3093103.

DMITRY A. IGNATIEV – Post-Graduate Student, Department of Automation and Control in Technical Systems, Chuvash State University, Russia, Cheboksary (Dimaignatev1997@mail.ru; SPIN-code: 2890-8048).

Формат цитирования: *Игнатьев Д.А.* Система сбора технологической информации // Вестник Чувашского университета. 2025. № 2. С. 72–82. DOI: 10.47026/1810-1909-2025-2-72-82.