

Научная статья
УДК 004.051, 004.052
<https://doi.org/10.24143/2072-9502-2023-2-33-41>
EDN BNXQND

Метод редукции информации с сохранением требуемой точности измерений в сетях полевого уровня систем сбора данных технологических параметров металлургического производства

Сергей Юрьевич Будков

*Донбасский государственный технический университет,
Алчевск, Россия, s.budkov@mail.ru*

Аннотация. Целью настоящего исследования является разработка нового метода редукции информации в системах сбора данных технологических параметров, реализованных на базе сетей полевого уровня на основе стандарта ANSI/TIA/EIA-485 для снижения количества избыточной информации, формируемой вторичными преобразователями измерительных приборов на основе показаний первичных преобразователей, транспортируемой в сетях передачи данных и хранимой в устройствах хранения. Для решения указанной задачи предлагается применение нового метода обработки исходных данных на этапе дискретизации при помощи модифицированного микропрограммного обеспечения встроенной микро-ЭВМ вторичного преобразователя измерительного прибора. В основе предлагаемого метода – выбор из ряда исходных дискретных величин такого количества дискретных значений (опорных точек), относительно которых существует возможность описания остальных значений каким-либо математическим способом с контролем точности восстановления значений расчетным путем на каждом шаге с последующим отбрасыванием элементов ряда, не являющихся опорными точками (редукцией). С целью проверки изложенного метода разработан способ снижения избыточности информации в сетях полевого уровня с сохранением требуемой точности измерений на базе линейной аппроксимации. Программная реализация разработанного способа показала его применимость для редукции данных в системах реального времени в потоке преобразования дискретных величин исходного сигнала. Разработанный способ, основанный на предложенном методе, обеспечивает значительное сокращение объема избыточной информации, тем большее, чем более равномерны изменения величин значений исходного ряда. Это позволяет сократить количество хранимых дискретных значений, снизить нагрузку на сетевые коммуникации систем реального времени, обеспечить возможность опроса большего количества устройств, подключенных к сети полевого уровня шинной топологии без изменения скорости обмена данными.

Ключевые слова: редукция данных, ряд значений, способ кодирования сигнала, восстановление сигнала, режим реального времени, дискретизация, вторичный преобразователь

Для цитирования: Будков С. Ю. Метод редукции информации с сохранением требуемой точности измерений в сетях полевого уровня систем сбора данных технологических параметров металлургического производства // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2023. № 2. С. 33–41. <https://doi.org/10.24143/2072-9502-2023-2-33-41>. EDN BNXQND.

Original article

Method of information reduction with maintaining measurement accuracy in field-level networks of data collection systems for technological parameters in metallurgical industry

Sergey Yu. Budkov

*Donbass State Technical University,
Alchevsk, Russia, s.budkov@mail.ru*

Abstract. The purpose of this study is to develop a new method of information reduction in data collection systems of technological parameters implemented on the basis of field-level networks based on the ANSI/TIA/EIA-485 standard to reduce the amount of redundant information generated by secondary converters of measuring instruments based

on the readings of primary converters transported in data transmission networks and stored in devices storage. To solve this problem, it is proposed to use a new method of processing initial data at the sampling stage using modified firmware of the built-in microcomputer of the secondary converter of the measuring device. The proposed method is based on selecting such a number of discrete values (reference points) from a set of initial discrete quantities, relative to which it is possible to describe the remaining values in some mathematical way with control of the accuracy of restoring values by calculation at each step, followed by discarding the elements of the series that are not reference points (reduction). In order to verify the described method, there has been developed a way to reduce the redundancy information in field-level networks with maintaining the required measurement accuracy based on linear approximation. The software implementation of the developed way has shown its applicability for data reduction in real-time systems in the stream of conversion of discrete quantities of the original signal. The developed way based on the proposed method provides a significant reduction in the amount of redundant information, the greater the more uniform the changes in the values of the original series. This makes it possible to reduce the number of stored discrete values, reduce the load on network communications of real-time systems, and provide the ability to poll more devices connected to the bus topology field-level network without changing the data exchange rate.

Keywords: data reduction, a set of values, signal encoding method, signal recovery, real-time mode, sampling, secondary converter

For citation: Budkov S. Yu. Method of information reduction with maintaining measurement accuracy in field-level networks of data collection systems for technological parameters in metallurgical industry. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, computer science and informatics*. 2023;2:33-41. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2023-2-33-41>. EDN BNXQND.

Проблема хранения и транспортировки избыточной информации в автоматизированных системах управления технологическим процессом

Технологические процессы металлургического производства в целом характеризуются большим количеством различных факторов, оказывающих влияние на качество и номенклатуру продукции, выпускаемой предприятиями черной металлургии.

Ввиду уникальности металлургических агрегатов протекание технологических процессов на них даже в сходных условиях родственных предприятий имеет отличия, обусловленные, например, различными температурными условиями функционирования агрегатов, различиями химических и физических свойств сырьевых материалов, различиями теплотворной способности газов, применяемых при производстве продукции, особенностями статических и динамических характеристик исполнительных механизмов подачи энергоносителей, тепловыми свойствами применяемых огнеупорных материалов, конфигурацией и протяженностью трасс энергоносителей и т. д. [1].

С ростом предприятия, модернизацией технологического оборудования, увеличением номенклатуры продукции, ужесточением требований к ее качеству возрастает количество источников информации (различного рода датчиков), что приводит к увеличению нагрузки на каналы транспортировки данных, а также устройства их хранения.

В настоящее время большинство информационных систем металлургических предприятий развивается экстенсивным путем: при нехватке средств хранения данных увеличивается объем хранилищ, что негативно сказывается на их производительности [2], при увеличении количества пе-

редаваемой информации в каналах передачи данных с пакетной коммутацией до 100 % пропускной способности – увеличивается количество каналов, что особенно актуально в случае использования сетей полевого уровня шинной топологии (построенных, например, на основе стандарта TIA/EIA – 485-A) [3, 4].

Тем не менее, учитывая тот факт, что данные технологических процессов металлургических агрегатов необходимо и целесообразно хранить в течение всего периода эксплуатации металлургического агрегата [5], указанных мер оказывается недостаточно, что приводит к переполнению хранилищ и, в конечном итоге, к безвозвратной потере низкоприоритетной информации и информации с наибольшим сроком хранения [2].

Таким образом, для обеспечения максимально возможного периода хранения данных на базе существующих программно-аппаратных комплексов, эффективного использования сетевых коммуникаций полевого уровня требуется разработка нового метода обработки данных источников информации о технологическом процессе в части снижения их избыточности, но, вместе с тем, с сохранением точности измерений, регламентированной государственными стандартами или же стандартами предприятия в каждой точке измерения.

Применение для обработки сигналов вычислительных ресурсов вторичных приборов

В общем виде типовую систему сбора данных технологических процессов для получения значений единичного параметра можно представить структурой, изображенной на рис. 1.

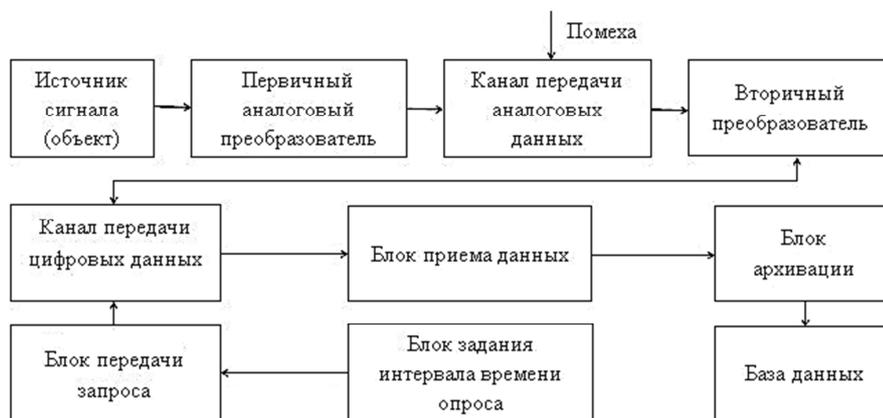


Рис. 1. Типовая структура системы сбора данных единичного технологического параметра

Fig. 1. Typical structure of a data acquisition system of a single process parameter

Источник сигнала посредством физического воздействия на чувствительный элемент первичного аналогового преобразователя сообщает ему некоторое количество энергии, которая затем трансформируется в непрерывный (аналоговый) электрический сигнал, поступающий по линиям связи канала передачи аналоговых данных на вход вторичного преобразователя. Вторичный преобразователь по запросу блока задания интервала времени опроса производит фильтрацию, дискретизацию и аналого-цифровое преобразование полученного электрического сигнала. После проведенных преобразований данные, сформированные в пакет, транспортируются по линиям связи сетей полевого уровня канала передачи цифровых данных на вход системы архивации, представленной блоком приема данных, блоком архивации и собственно хранилищем в виде базы данных.

Для обеспечения упорядочения и сокращения количества данных (редукции) в блоках системы необходимо наличие программно-аппаратной платформы, позволяющей производить вычисления в потоке информации с минимальной задержкой при обработке.

При детальном рассмотрении структуры системы можно сделать вывод о том, что потенциальных мест редукции данных может быть 2:

- вторичный преобразователь;
- блок архивации.

Редукции информации в применяемых промышленных системах сбора технологических параметров, входящих в состав автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУ ТП), внимание уделяется на этапе архивации, причем на данном этапе происходит, как правило, только сжатие данных без снижения количества избыточной информации.

В работе [6] предложен метод сокращения объема

данных, передаваемых в сетях шинной топологии на базе RS-485 (ANSI/TIA/EIA-485), однако:

- для реализации предложенного метода необходимо включение в сеть дополнительных устройств сбора данных;
- предложенный метод обработки позволяет сократить объем информации в случае, если данные не изменяются, что в системах сбора технологических параметров наблюдается достаточно редко;
- метод не позволяет адаптировать период опроса вторичных преобразователей сообразно изменяющимся условиям поступления информации от источника сигнала.

В [7] показано, что снижение частоты дискретизации и опроса источников сигнала позволяет сократить объем информации, передаваемой по сети, но достаточность точности измерений полученных данных требованиям производственного процесса в этом случае неизвестна.

Таким образом, возникает дилемма:

- для сокращения объема информации частоту опроса источников сигнала необходимо снижать;
- для обеспечения точности частоту опроса источников сигнала следует увеличивать.

Следует отметить, что на текущий момент возможности микро-ЭВМ, входящей в состав практически любого современного вторичного преобразователя, в части редукции данных не используются.

При этом применение метода редукции данных в структуре блока вторичного преобразователя является наиболее перспективным:

- ввиду возможности обеспечения максимальной частоты дискретизации аналоговой величины источников сигнала;
- возможности снижения количества избыточной цифровой информации в функции точности измерений;

– возможности обработки данных в режиме реального времени.

Метод редукции данных

Предлагаемый метод редукции данных в составе блока вторичного преобразователя состоит в том (рис. 2), что для повторения формы исходно-

го сигнала (показан штриховой линией) при декодировании достаточно иметь ряд значений, по которым будет проводиться упорядочение данных (опорных точек (показаны в черной рамке)), зная их порядковые номера в ряду исходного сигнала (номера пакетов, временные метки и т. д.) и способ кодирования/восстановления.

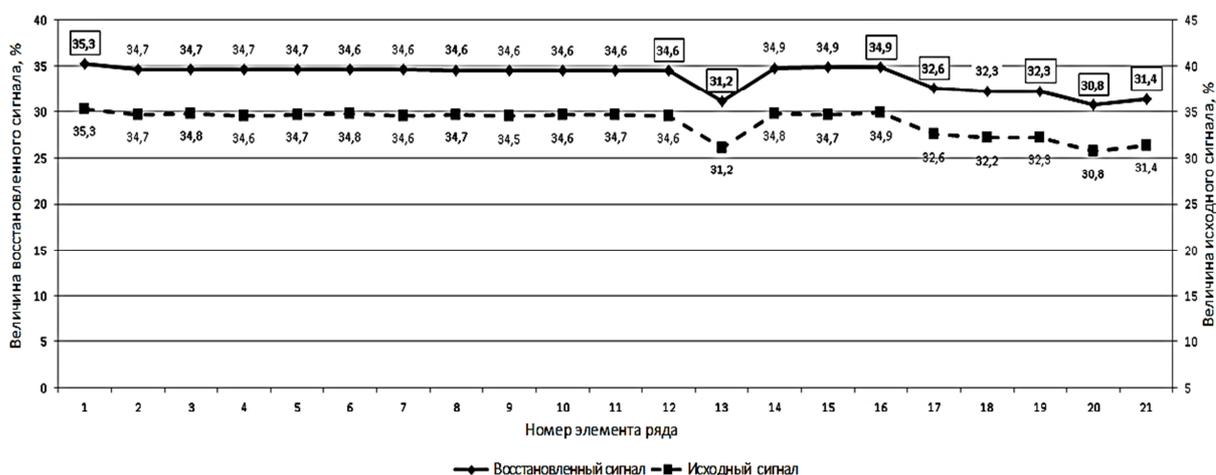


Рис. 2. Иллюстрация метода редукции данных

Fig. 2. Illustration of the data reduction method

Все остальные элементы ряда исходного сигнала могут быть отброшены на этапе редукции, а затем восстановлены расчетными значениями (показаны без рамки) в восстановленном сигнале (показан непрерывной линией) по имеющейся информации.

В качестве критерия, определяющего принадлежность каждого значения, в технических системах применяется понятие точности измерений, которая определяет достоверность значений в каждой точке измерений [8].

Поиск опорных точек необходимо вести таким образом, чтобы значения (X_i), находящиеся между двумя опорными точками (X_{rpk} , X_{rpm}), не отличались бы от расчетных (X_{spi}) при декодировании (восстановлении) сигнала на величину, большую допустимых погрешностей относительно шкалы измерений на каждом этапе вычислений:

$$|X_i - X_{spi}| \leq \Delta; k < i < m, \quad (1)$$

где X_i – значение исходного сигнала, не являющееся опорной точкой, отн. ед.; X_{spi} – значение восстановленного сигнала, эквивалентное значению входного, отн. ед.; Δ – допустимая погрешность измерения, отн. ед.; k – порядковый номер предыдущей опорной точки в ряду значений исходного сигнала; i – порядковый номер значений в рядах

исходного и восстановленного сигнала; m – порядковый номер следующей опорной точки в ряду значений исходного сигнала.

Определение эффективности предложенного метода редукции данных

С целью проверки предлагаемого метода был разработан алгоритм (рис. 3), отражающий процесс редукции данных исходного сигнала для обработки потоковой информации.

На рис. 4 представлена блок-схема подпрограммы оценки отклонений, которая, по сути, и определяет способ кодирования.

Вид способа кодирования/восстановления принципиальной разницы в случае выполнения условия (1) не имеет, кроме трудоемкости обработки данных и возможности реализации его исполнения в реальном режиме времени при помощи микро-ЭВМ вторичного преобразователя. По этой причине в качестве способа кодирования/восстановления применен модифицированный автором метод линейной интерполяции [9], наиболее простой в реализации и не требовательный к ресурсам микро-ЭВМ.

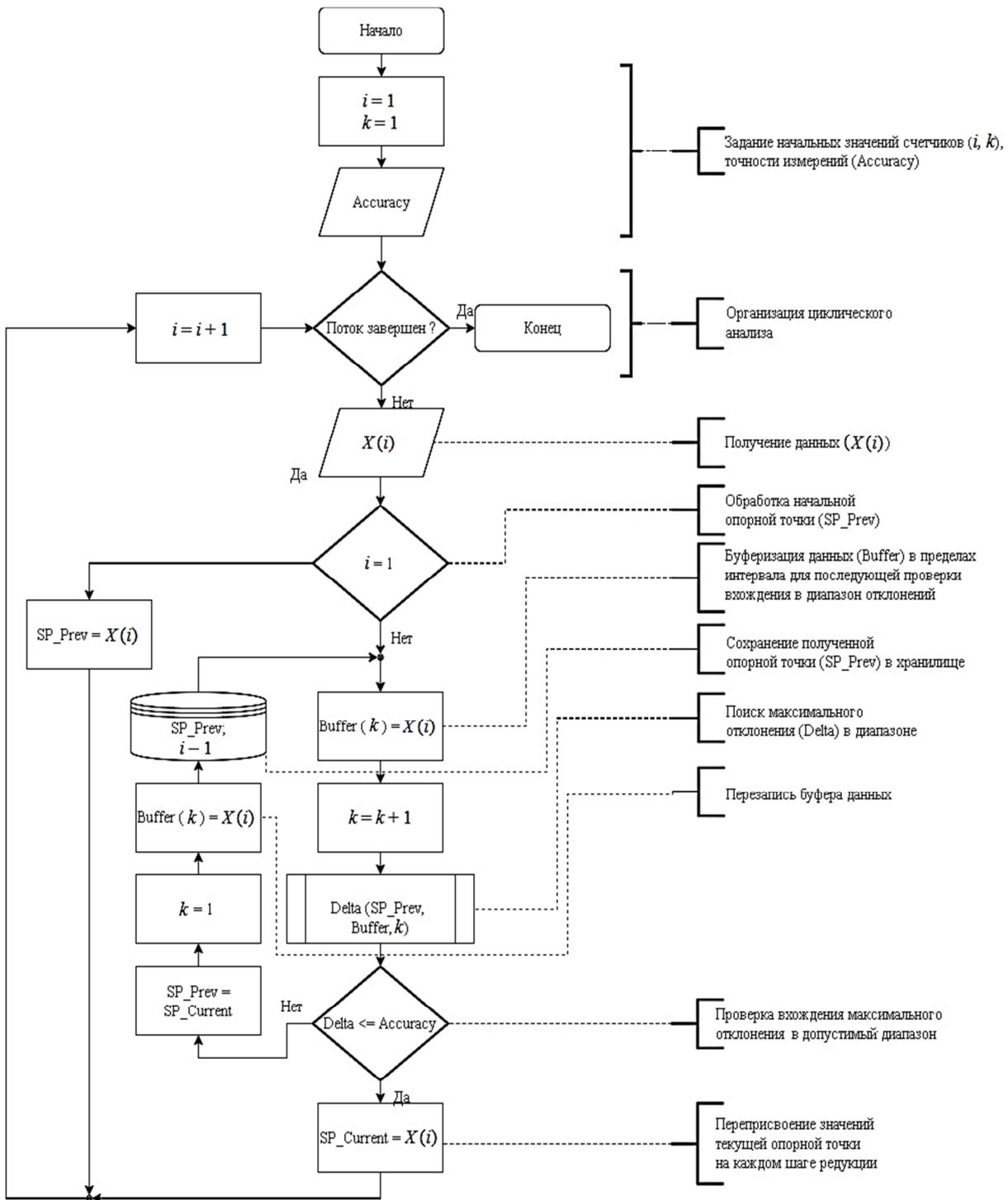


Рис. 3. Блок-схема алгоритма редукции данных

Fig. 3. Diagram of the data reduction algorithm

Будков С. Ю. Метод редукции информации с сохранением требуемой точности измерений в сетях полевого уровня систем сбора данных технологических параметров металлургического производства

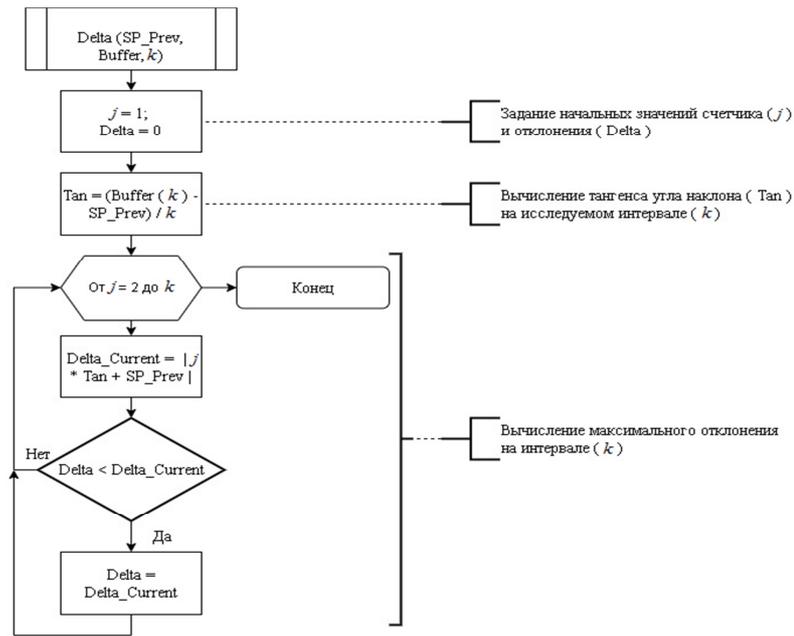


Рис. 4. Блок-схема подпрограммы вычисления отклонений

Fig. 4. Diagram of the variance calculation routine

По предложенным алгоритмам была выполнена программная обработка двух произвольных фрагментов сигнала (рис. 5), равных по количеству

элементов ряда и требуемой точности измерений, но отличающихся характером изменений.

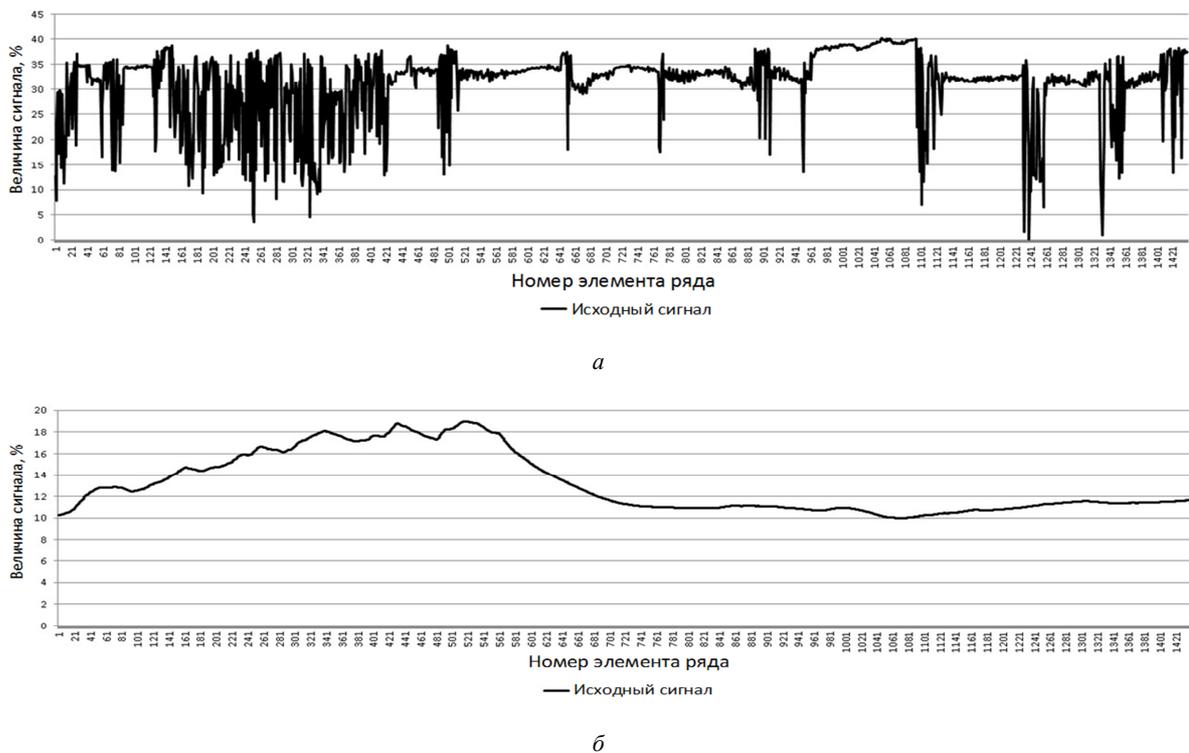


Рис. 5. Графики исходных сигналов для проведения редукции: а – фрагмент сигнала 1; б – фрагмент сигнала 2

Fig. 5. Graphs of initial signals for reduction: a – fragment of signal 1; б – fragment of signal 2

В результате редукции фрагментов данных установлено, что на точность восстановленных после редукции данных достаточно просто влиять

и обеспечивать ее поддержание на заданном уровне в потоке данных в реальном режиме времени (рис. 6).

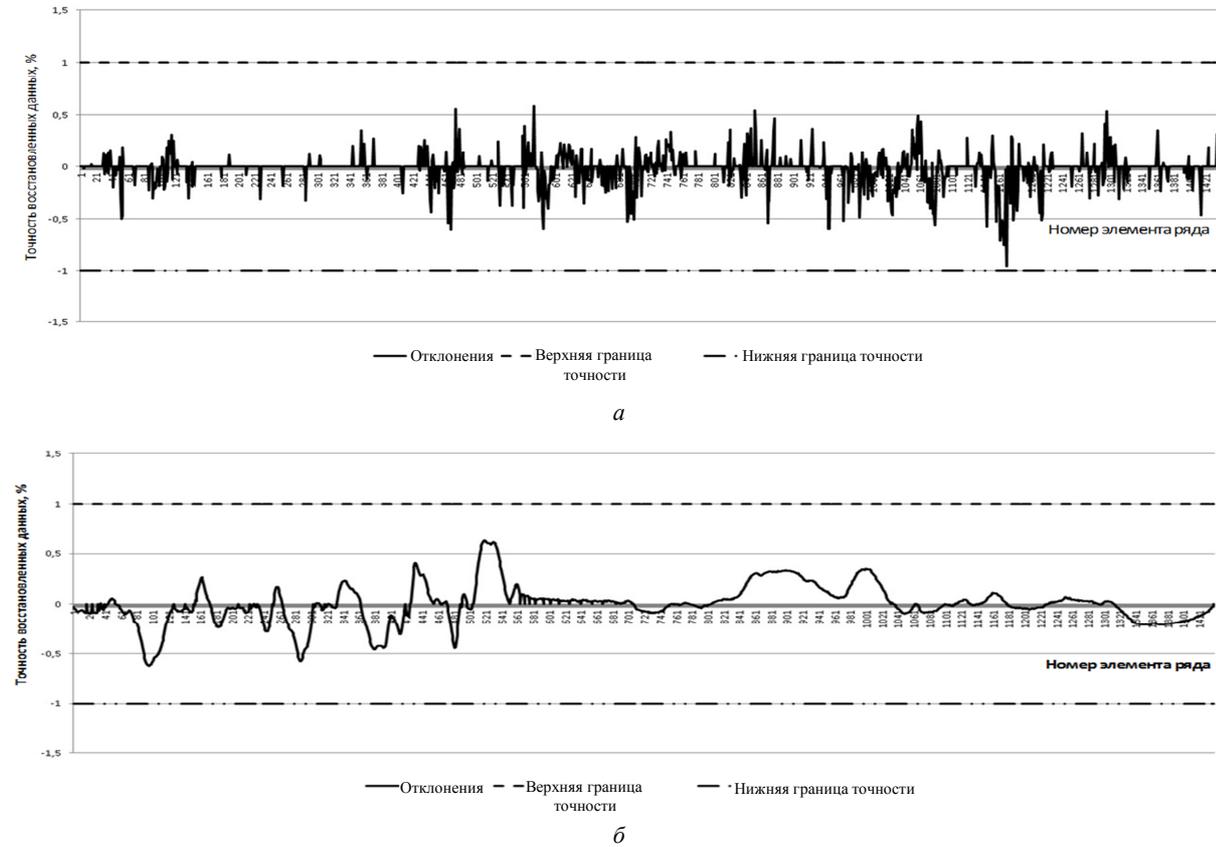


Рис. 6. Отклонение значений исходных и восстановленных сигналов:
 а – в процессе редукции фрагмента сигнала 1; б – в процессе редукции фрагмента сигнала 2

Fig. 6. Deviation of the values of the initial and restored signals:
 а – in the process of reduction of fragment of signal 1; б – in the process of reduction of fragment of signal 2

В численном представлении эффективность применения редукции данных анализируемых фрагментов

сигнала на этапе дискретизации представлена в таблице.

Эффективность предлагаемого метода редукции данных по отношению к исходному потоку данных
Efficiency of the proposed data reduction method relative to the original data stream

Показатель	Исходный поток данных		Предлагаемый метод	
	Фрагмент сигнала 1	Фрагмент сигнала 2	Фрагмент сигнала 1	Фрагмент сигнала 2
Количество опорных точек, шт.	1 440	1 440	870	43
Количество расчетных точек, шт.	0	0	570	1 397
Объем данных для кодирования фрагмента, байт	5 760	5 760	3 480	172
Снижение объема данных по отношению к исходному потоку данных, раз	–	–	1,655172	33,48837

Таким образом, численные показатели эффективности предложенного метода, представленные в таблице, говорят о целесообразности применения

редукции данных на этапе дискретизации исходного сигнала.

Rydkov S. Yu. Method of information reduction with maintaining measurement accuracy in field-level networks of data collection systems for technological parameters in metallurgical industry

Выводы

На основании полученных результатов применения предложенного метода с применением реализованного способа редукции данных можно сделать следующие выводы:

- для различных типов фрагментов рядов данных исходных сигналов в зависимости от характера их изменений снижение объема данных для обеспечения кодирования значений не является постоянной величиной и тем больше, чем меньше скорость изменения сигнала;
- редукция данных на этапе дискретизации исходного сигнала обеспечивает снижение объема передаваемых данных, что дает возможность передачи большего, по сравнению с исходным, количества уникальной информации по сети шинной топологии при неизменной установленной скорости сетевого обмена;
- применение предложенного метода редукции данных при их получении по отношению к суще-

ствующему за равные промежутки времени приводит к снижению объема хранимой информации, что ведет к увеличению возможного периода хранения значений величин параметров технологического процесса без изменений программно-аппаратных средств хранилищ;

– предложенный метод редукции данных позволяет поддерживать точность расчетных значений по отношению к исходным в рамках требуемой точности измерений за счет определения новых опорных точек в случае, если результаты восстановления сигнала показывают превышение величины погрешности по отношению к заданной;

– приведенные блок-схемы алгоритмов показывают, что представленный метод редукции данных применим в реальном режиме времени для обработки непрерывного потока значений исходного сигнала, что позволяет использовать его в составе микропрограммного обеспечения микро-ЭВМ вторичных преобразователей.

Список источников

1. Липухин Ю. В. Автоматизация основных металлургических процессов. М.: Металлургия, 1990. 278 с.
2. Бат'ков В. О. Анализ проблем современных хранилищ данных // Надежность и качество: тр. Междунар. симп. Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2013. Т. 1. С. 259–261.
3. Perrin B. The art and science of RS-485. URL: <https://www2.htw-dresden.de/~huhle/ArtScienceRS485.pdf> (дата обращения: 02.04.2022).
4. ANSI/TIA/EIA-485-A-1998. URL: <http://сахара.ru/thumbs/876528/eia485.pdf> (дата обращения: 02.04.2022).
5. Об утверждении Перечня типовых архивных документов, образующихся в научно-технической и производственной деятельности организаций, с указанием сроков хранения: приказ Росархива от 28 декабря 2021 г. № 142. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_408338/ (дата обращения: 02.04.2022).
6. Шершень С. А., Бизянов Е. Е. Разработка метода опроса устройств на основе стандарта RS-485 для систем

реального времени // Вестн. кибернетики. 2021. № 2 (42). С. 31–37.

7. Шершень С. А., Будков С. Ю. Разработка комплексного критерия оценки информации в одномастерной сети RS-485 // Актуальные проблемы современной науки: взгляд молодых ученых: сб. тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. (Алчевск, 19 марта 2020 г.) / под общ. ред. С. В. Куберского. Алчевск: Изд-во ДонГТУ, 2020. С. 70–72.

8. РМГ 29-2013 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения. Рекомендации по межгосударственной стандартизации от 05 декабря 2013 г. № 29-2013 (применяется с 01 января 2015 г. взамен РМГ 29-99). URL: <https://metrcons.ru/upload/iblock/feb/feb4f18a54120293bf0fe6973539d7e4.pdf> (дата обращения: 02.04.2022).

9. Дьяконов В. П. Справочник по алгоритмам и программам на языке Бейсик для персональных ЭВМ. М.: Наука, 1989. 240 с.

References

1. Lipukhin Iu. V. *Avtomatizatsiia osnovnykh metallurgicheskikh protsessov* [Automation of basic metallurgical processes]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1990. 278 p.
2. Bat'kov V. O. Analiz problem sovremennykh khranilishch dannykh [Analysis of problems of modern data storages]. *Nadezhnost' i kachestvo: trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma*. Penza, Izd-vo Penz. gos. un-ta, 2013. Vol. 1. Pp. 259-261.
3. Perrin B. *The art and science of RS-485*. Available at: <https://www2.htw-dresden.de/~huhle/ArtScienceRS485.pdf> (accessed: 02.04.2022).
4. ANSI/TIA/EIA-485-A-1998. Available at: <http://сахара.ru/thumbs/876528/eia485.pdf> (accessed: 02.04.2022).
5. *Ob utverzhenii Perechnia tipovykh arkhivnykh dokumentov, obrazuiushchikhsia v nauchno-tekhnicheskoi i proizvodstvennoi detatel'nosti organizatsii, s ukazaniem srokov khraneniia: prikaz Rosarkhiva ot 28 dekabria 2021 g. № 142* [On approval of the List of standard archival documents generated in the scientific, technical and production activities of organizations, indicating the periods of storage:

order of the Federal Archive of December 28, 2021 No. 142]. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_408338/ (accessed: 02.04.2022).

6. Shershen' S. A., Bizianov E. E. *Razrabotka metoda oprosa ustroystv na osnove standart RS-485 dlia sistem real'nogo vremeni* [Developing device polling method based on RS-485 standard for real-time systems]. *Vestnik kibernetiki*, 2021, no. 2 (42), pp. 31-37.

7. Shershen' S. A., Budkov S. Iu. *Razrabotka kompleksnogo kriteriia otsenki informatsii v odnomasternoi seti RS-485* [Developing complex criterion for evaluating information in one-master RS-485 network]. *Aktual'nye problemy sovremennoi nauki: vzgliad molodykh uchenykh: sbornik tezisov dokladov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Alchevsk, 19 marta 2020 g.)*. Pod obshchei redaktsiei S. V. Kuberskogo. Alchevsk, Izd-vo DonGTU, 2020. Pp. 70-72.

8. RМG 29-2013 GSI. *Metrologiia. Osnovnye terminy i opredeleniia. Rekomendatsii po mezhgosudarstvennoi standartizatsii ot 05 dekabria 2013 g. № 29-2013 (primeniaet-*

sia s 01 ianvaria 2015 g. vzamen RMG 29-99) [RMG 29-2013 GSI. Metrology. Basic terms and definitions. Recommendations on interstate standardization dated December 05, 2013 No. 29-2013 (applied from January 01, 2015 instead of RMG 29-99)]. Available at: <https://metrcons.ru/upload/>

iblock/feb/feb4f18a54120293bf0fe6973539d7e4.pdf (accessed: 02.04.2022).

9. D'iakonov V. P. *Spravochnik po algoritmam i programmam na iazyke Beisik dlia personal'nykh EVM* [Handbook of algorithms and programs in BASIC for personal computers]. Moscow, Nauka Publ., 1989. 240 p.

Статья поступила в редакцию 28.02.2023; одобрена после рецензирования 05.04.2023; принята к публикации 13.04.2023
The article is submitted 28.02.2023; approved after reviewing 05.04.2023; accepted for publication 13.04.2023

Информация об авторе / Information about the author

Сергей Юрьевич Будков – аспирант кафедры специализированных компьютерных систем; Донбасский государственный технический университет; s.budkov@mail.ru

Sergey Yu. Budkov – Postgraduate Student of the Department of Specialized Computer Systems; Donbass State Technical University; s.budkov@mail.ru

