

Рациональный выбор преобразователей формы информации для автоматизированных систем в строительстве

Александр Ильич КОНИКОВ, кандидат технических наук, доцент, e-mail: KonikovAI@mgsu.ru

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), 129337 Москва, Ярославское ш., 26

Аннотация. В автоматизированных системах управления техническими процессами широко используются преобразователи непрерывного сигнала в цифровой код и обратно – из цифрового кода в непрерывную (аналоговую) величину. Характеристики преобразователей зачастую кардинальным образом влияют на параметры всей автоматизированной системы. Значение правильного выбора преобразователей особенно повысилось в последнее время в связи с массовым внедрением микроконтроллеров. Использование преобразователей формы информации в строительной отрасли предъявляет дополнительные требования к ним: например, в системах мониторинга зданий часто требуются прецизионные преобразователи, обладающие исключительно высокой точностью (при этом быстродействие может быть невысоким). В других приложениях требуется обеспечение нужных параметров преобразователей формы информации при высоком уровне промышленных помех и т. д. В данной статье исследуются вопросы, связанные с рациональным выбором преобразователей с учетом современных тенденций в IT-области и специфики их работы в строительной отрасли. Указываются наиболее перспективные модели преобразователей, в частности сигма-дельта типа.

Ключевые слова: строительная отрасль, аналого-цифровой преобразователь, цифро-аналоговый преобразователь, датчик, микроконтроллер.

RATIONAL CHOICE OF INFORMATION FORM CONVERTERS FOR AUTOMATED SYSTEMS IN CONSTRUCTION

Alexander I. KONIKOV, e-mail: KonikovAI@mgsu.ru

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Yaroslavskoe shosse, 26, Moscow 129337, Russian Federation

Abstract. In automated control systems for technical processes, the conversion of a continuous signal into a digital code and vice versa from a digital code to a continuous (analog) value is widely used. For direct type converters often used the term ADC, the reverse – DAC. The characteristics of the converters often dramatically affect the parameters of the entire automated system. The importance of the correct choice of ADCs and DACs has especially increased recently in connection with the mass introduction of microcontrollers MC. Indeed, in addition to the ADC and DAC, it is necessary to place the processor core in the microcontroller's crystal, I/O interfaces and many other elements necessary for the functioning of the MC. The use of information converters in the construction industry imposes additional requirements on converters: for example, in building monitoring systems, precision ADCs with extremely high accuracy are often required (while performance may be low), in other applications it is necessary to provide the necessary parameters at a high level of industrial interference, etc. This article explores issues related to the rational choice of ADCs and DACs, taking into account current trends in the IT field and the specifics of work in the construction industry. Sigma-Delta converters are noted as the most promising models of direct type converters.

Key words: construction industry, analog-digital converter, digital-analog converter, sensor, microcontroller.

В настоящее время прослеживается тенденция к переходу к цифровым методам обработки, хранения и передачи информации. Это в полной мере относится и к строительной отрасли. Однако многие сигналы изначально представлены в непрерывной (аналоговой) форме, например, ряд сигналов от датчиков состояния здания. Поэтому необходимы преобразователи формы информации – прямые, или анало-

го-цифровые (АЦП) и обратные, или цифро-аналоговые (ЦАП). Параметры преобразователей информации играют исключительно важную роль в системах сбора и обработки информации, микроконтроллерах и т. д.

Цель данной работы – исследование вопросов, связанных с рациональным выбором преобразователей информации в контексте их использования в строительной отрасли.

Рассмотрим вначале основные характеристики АЦП. Таких характеристик три: скорость преобразования (быстродействие), точность и объем оборудования. Разумеется, есть и другие характеристики – количество каналов, диапазон и т. д. На некоторых из них мы в дальнейшем коротко остановимся, но пока сосредоточим внимание на трех основных.

Прежде всего рассмотрим па-

параметр, характеризующий скорость (частоту) преобразования — f . Согласно известному соотношению академика Котельникова, следует проводить дискретизацию аналогового сигнала с частотой

$$f \geq 2f_c, \quad (1)$$

где f_c — граничная частота спектра входного сигнала (для которого осуществляется аналого-цифровое преобразование).

Граничная частота однозначно определяет Δ — период дискретизации, т. е., по существу, время преобразования АЦП:

$$\Delta = 1/f. \quad (2)$$

На практике при выборе АЦП далеко не всегда ориентируются на конкретный входной сигнал. При этом, с одной стороны, выбирают значение f так, чтобы удовлетворить максимальный сегмент пользователей. С другой стороны (когда АЦП входит в микроконтроллер, систему сбора данных и т. п.), исходят из всего комплекса требований — функциональных, технологических, экономических и т. д.

На практике зачастую имеют дело с достаточно большим числом входных сигналов, что весьма характерно для строительных приложений. Другими словами, требуются многоканальные АЦП, способные обрабатывать m входных сигналов. Тогда частота дискретизации f должна быть такой, чтобы обеспечить соотношение

$$\Delta \geq m\Delta_1, \quad (3)$$

где Δ_1 — время преобразования одного АЦП.

Следует отметить, что иногда для оценки быстродействия АЦП вместо термина «частота дискретизации» используют термин «число выборок в секунду» («Samples per Second»).

Теперь рассмотрим следующую характеристику — точность АЦП. Процесс аналого-цифрово-

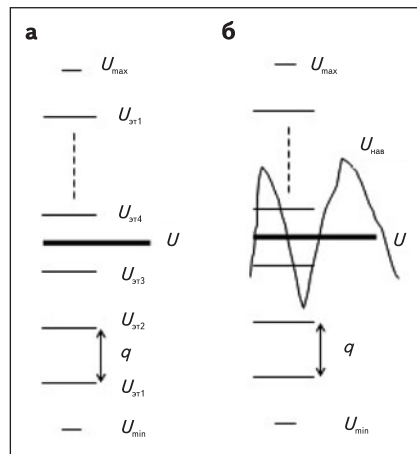


Рис. 1. Квантование по уровню без «наводки» (а) и с «наводкой» (б)

го преобразования включает два взаимосвязанных процесса: квантование по времени («дискретизацию», которую мы коротко рассмотрели) и квантование по уровню. В процессе квантования по уровню значение амплитуды U , которое может принимать любое значение в интервале $U_{\min} - U_{\max}$, преобразуется в n -разрядный двоичный код.

На рис. 1а иллюстрируется процесс квантования по уровню без учета помех. Диапазон входного сигнала $U_{\min} - U_{\max}$ с помощью эталонных уровней поделен на 2^n равных интервала, где n — количество двоичных разрядов на выходе АЦП. Расстояние q между эталонными уровнями определяется соотношением

$$q = (U_{\max} - U_{\min})/2^n. \quad (3)$$

Таким образом, чем больше количество разрядов на выходе АЦП, тем меньше шаг квантования q и, соответственно, выше точность.

На первый взгляд, кажется, что, выбирая большое значение n , можно получить очень высокую точность. Однако на практике выбор числа разрядов в значительной мере зависит от типа АЦП. Поэтому целесообразно вернуться к этому вопросу при рассмотрении конкретных типов преобразователей.

Имеется три основных типа АЦП:

- АЦП первого типа характеризуются высоким быстродействием (несколько ГГц и выше) и относительно небольшой точностью (обычно не превышает восьми разрядов);
- АЦП третьего типа относят к высокоточным (прецизионным), в них точность может достигать до 24 разрядов при очень умеренных требованиях к быстродействию;
- АЦП второго типа занимают некоторую промежуточную позицию; основным представителем этого класса — АЦП последовательных приближений — имеет исключительно привлекательные показатели по объему оборудования.

Рассмотрим преобразователи первого типа, к которым в первую очередь относятся параллельные АЦП. В этих преобразователях формы информации (ПФИ) преобразование осуществляется в один такт, основной элемент таких преобразователей — линейка, состоящая $2^n - 1$ компараторов. На первые входы компараторов подается входная величина (положим, что это напряжение U), на вторые входы поступают эталонные уровни, которые делят диапазон $U_{\min} - U_{\max}$ на 2^n равных частей с шагом q . С помощью компараторов определяется, в каком интервале L находится U , это значение переводится в двоичный код. Главное достоинство параллельных АЦП — высокое быстродействие, способность дискретизации сигнала с большой частотой f . Основной недостаток — большое количество компараторов. Так, при числе разрядов $n = 8$ требуется $2^8 - 1 = 255$ компараторов. Это обстоятельство создает основные проблемы, особенно при использовании АЦП в составе микроконтроллера. Действительно, в микроконтроллерах необходимо уместить в одном

кристалле целый набор устройств: вычислитель, порты ввода-вывода, периферийные устройства, таймеры и др.

Имеется решение, позволяющее кардинально сократить количество компараторов — это АЦП параллельно-последовательного типа. Суть их работы поясняется *рис. 2*.

В АЦП параллельно-последовательного типа работа происходит в две ступени. Допустим, число разрядов АЦП $n = 8$, тогда в первой ступени определяются четыре старших разряда, диапазон делится на $2^4 = 16$ частей, шаг квантования первой ступени — q_1 . Во второй ступени q_1 делится еще в 16 раз, шаг квантования q_2 соответствует 8-разрядному АЦП. Достоинство: 30 компараторов вместо 255 у параллельного АЦП. Недостатки: снижение быстродействия за счет двух тактов сравнения; наличие дополнительных элементов — 4-разрядного ЦАП и операционного усилителя (для связи между ступенями), что влияет на точность и быстродействие. В большинстве случаев недостатки «перевешивают», и такие АЦП используются нечасто.

АЦП параллельного типа востребованы в автоматизированных системах вообще и в строительной отрасли, в частности, поскольку только они могут обеспечить работу на очень высокой частоте — порядка нескольких ГГц и выше. Такая частота позволяет обрабатывать сигналы, поступившие по каналам беспроводной связи, мобильной связи, спутниковой связи и т. п. [1–4]. Например, в работе [1] с помощью геостационарной спутниковой связи осуществляется мониторинг удаленного объекта строительства. Нет сомнений, что со временем интерес к преобразователям этого типа будет неуклонно возрастать.

Второй тип АЦП использует

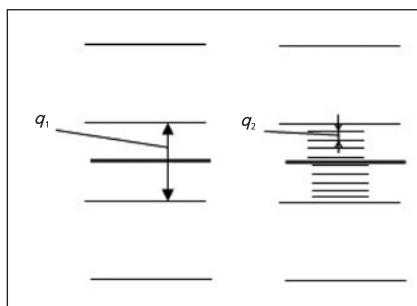


Рис. 2. Принцип работы параллельно-последовательного АЦП

метод последовательных приближений, при котором преобразование производится в n тактов. В основе лежит известный в математике метод бинарного поиска (деления пополам). В процессе преобразования входная величина U последовательно сравнивается со значением составного эталона, который такт за тактом приближается к значению U . В последнем n такте значение составного эталона E становится равным U с точностью до кванта, при этом величина E равна

$$E = e_1\alpha_1 + e_2\alpha_2 + \dots + e_n\alpha_n, \quad (2)$$

где $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ — выходной код; e_1, e_2, \dots, e_n — значение эталонов в первом, втором и т. д. тактах. В каждом такте значение эталона уменьшается вдвое.

АЦП последовательных приближений позволяет оптимальным образом сочетать основные характеристики АЦП: точность, скорость и объем оборудования. Устроен АЦП исключительно просто: компаратор, ЦАП (служит для формирования составного эталона) и устройство управления. Важно отметить, что объем оборудования почти не зависит от количества разрядов n , что выгодно отличает этот тип от предыдущего.

Однако у АЦП последовательных приближений имеется следующая проблема: значение U за время преобразования не должно существенно изменяться — в противном случае процесс итеративных приближений может не

сойтись, тогда возможна большая ошибка (для параллельных АЦП данная проблема стоит менее остро). Для решения этого вопроса на вход АЦП устанавливают устройство выборки-хранения, которое и поддерживает постоянное значение входного сигнала за время преобразования.

Разработчикам строительных приложений следует обратить внимание на ряд моментов при выборе микроконтроллера (МК) или другого устройства, содержащего АЦП. Во-первых, в МК должно быть устройство выборки-хранения, которое необходимо с точки зрения системных требований. Во-вторых, нужно сопоставить количество разрядов АЦП (и соответственно величину кванта q) со значением промышленных шумов и наводок на входе преобразователя. Если величина наводок больше кванта (*рис. 1б*), то младшие разряды АЦП будут недостоверны. Тогда возможны разные решения: например, выбрать МК с меньшим количеством разрядов, но более экономичный или обладающий большим функционалом.

В целом АЦП последовательных приближений является наиболее распространенным типом ПФИ, часто используется при автоматизации процессов в строительной отрасли, входит в состав многих микроконтроллеров, систем сбора данных, других устройств. Действительно, типична ситуация, когда при обработке сигналов (например сигналов определенных датчиков) не требуется очень высокая скорость обработки (как у параллельных АЦП) или исключительно высокая точность (как у прецизионных сигма-дельта АЦП, см. далее). Тогда наиболее естественный выбор — АЦП последовательных приближений, обеспечивающий достаточно хорошие характеристики по точности и быстродействию при относительно

небольших аппаратурных затратах.

Третий тип АЦП имеет исключительно высокую точность (такие устройства часто называют прецизионными), количество разрядов здесь может достигать 22–24. Эти преобразователи рассчитаны на работу с медленными сигналами. Высокую точность удается получить благодаря наличию в процессе преобразования процедуры «интегрирование сигнала».

Прием «интегрирование сигнала» использовался при создании прецизионных АЦП достаточно давно: входное напряжение поступало на интегратор (в простейшем случае — конденсатор), который заряжался до определенной величины, а затем разряжался эталонным сигналом противоположной полярности до нуля. По соотношению времени между разрядом и зарядом судили о величине входного напряжения.

Использование данного приема позволяло в значительной мере подавлять шумы и наводки, получать исключительно высокие характеристики по точности, что использовалось, в частности, в цифровых вольтметрах.

В настоящее время интегрирующие АЦП не применяются, их место заняли более «продвинутое» устройства: АЦП с уравниванием заряда, сигма-дельта АЦП и др. Эти АЦП используют в процессе преобразования несколько приемов обработки сигнала, но ключевым по-прежнему остается интегрирование. Неизменными (по сравнению с АЦП интегрирующего типа) остаются их достоинства и недостатки: достоинство — исключительно высокая точность, недостаток — низкое быстродействие. Благодаря своим уникальным характеристикам, сигма-дельта АЦП широко применяются в строительной отрасли, в частности,

при обработке сигналов датчиков деформации, давления, наклона и т. д., а также в других приложениях, где предъявляются высокие требования к точности и стабильности преобразования.

Коротко рассмотрим цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП). Здесь, в отличие от АЦП, нет разнообразия в методах построения: классическими являются два варианта построения — на основе матрицы R-2R и на основе матрицы взвешенных резисторов. Второй вариант содержит меньше резисторов, и эти резисторы имеют большой разброс номиналов, что неудобно при реализации схемы в интегральном исполнении, поэтому обычно выбирают ЦАП на основе матрицы R-2R. Точность (количество разрядов) определяется системными требованиями и технологическими факторами.

Следует отметить, что роль преобразователей информации со временем будет повышаться еще по одной причине: сейчас набирают обороты технологии, связанные с обработкой большого объема данных [5–14]. Многие данные представлены непрерывными сигналами, и для их обработки нужны преобразователи информации.

В заключение подведем некоторые итоги.

В автоматизированных системах управления техническими процессами широко используются преобразователи непрерывного сигнала в цифровой код (АЦП) и обратно — из цифрового кода в непрерывную (аналоговую) величину (ЦАП). Характеристики преобразователей зачастую кардинальным образом влияют на параметры всей автоматизированной системы, поэтому правильный выбор их типа и характеристик имеет большое значение, особенно в связи с массовым внедрением микроконтроллеров.

Рассмотрены основные характеристики АЦП. Указано, что с общетеоретической точки зрения частоту дискретизации f (которая однозначно связана со временем преобразования Δ) следует выбирать по формуле академика Котельникова. Во многих приложениях строительной отрасли требуются многоканальные АЦП, тогда частоту f следует выбирать так, чтобы выполнялось условие $\Delta \geq m\Delta_1$, где m — число каналов, Δ_1 — время преобразования одного АЦП. Рассмотрен другой важный параметр АЦП — точность, которая теоретически определяется количеством двоичных разрядов n на выходе преобразователя: чем больше n , тем меньше значение шага квантования по уровню и тем выше точность. На практике выбор значения n во многом зависит от типа АЦП.

Предложено группировать АЦП в три группы.

К первой группе относятся быстродействующие преобразователи, способные работать на частоте нескольких ГГц и выше. К ним относятся прежде всего АЦП параллельного типа, обладающие высоким быстродействием при относительно небольшой точности (обычно $n \leq 8$). Достижение большей точности затруднительно из-за необходимости значительного увеличения числа компараторов, что создает основные проблемы, особенно при использовании АЦП в составе микроконтроллера. Возможен компромиссный вариант — параллельно-последовательный АЦП. При этом резко сокращается число компараторов за счет снижения скорости (два такта сравнения вместо одного, имеется «переходная» ступень, дополнительно снижающая скорость). Данные недостатки резко сужают область использования этого варианта.

АЦП параллельного типа вос-

требованы в автоматизированных системах строительной отрасли, поскольку позволяют работать в приложениях, требующих большой скорости преобразования (например, обрабатывать сигналы, поступившие по каналам беспроводной, мобильной, спутниковой связи и др.). Отмечено, что со временем интерес к преобразователям этого типа будет неуклонно возрастать.

Ко второму классу относятся АЦП последовательных приближений, оптимальным образом сочетающие основные характеристики АЦП: точность, скорость и объем оборудования. Отмечено, что объем оборудования почти не зависит от количества разрядов, что выгодно отличает этот тип от предыдущего. Сформулирована проблема, существующая для АЦП последовательных приближений: значение входной величины за время преобразования не должно существенно изменяться. Для решения вопроса на вход аналого-цифрового преобразователя устанавливают устройство выборки-хранения. Дан-

ный тип АЦП является самым распространенным и востребован в строительной отрасли — в приложениях, где не требуется большая скорость (как у параллельного АЦП) или очень высокая точность (как у сигма-дельта АЦП). Тогда на первый план выдвигается основное достоинство этих преобразователей — малый объем оборудования.

К третьему типу относятся АЦП, обладающие исключительно высокой точностью (с количеством разрядов 22–24). Эти преобразователи рассчитаны на работу с медленными сигналами и используют в процессе преобразования прием интегрирования, что позволяет, в частности, в значительной мере подавить шумы и наводки. Наиболее «продвинутыми» моделями данного класса являются сигма-дельта АЦП, использующие в процессе преобразования несколько приемов обработки информации, однако ключевым является интегрирование. Сигма-дельта АЦП широко применяются в строительстве, в частности, при обработке сигналов датчиков деформации, дав-

ления, наклона и т. д., а также в других приложениях, где предъявляются высокие требования к точности и стабильности преобразования.

Выводы

В работе исследованы методы построения аналого-цифровых преобразователей и выделено три группы. Первая группа — быстродействующие параллельные АЦП, способные работать на частоте порядка нескольких ГГц и выше. Ко второй группе относятся АЦП, оптимальные с точки зрения быстродействия, точности и объема оборудования. При построении таких АЦП целесообразно использовать метод последовательных приближений. Третий тип — АЦП исключительно высокой точности. Наиболее перспективные модели — сигма-дельта АЦП. Приводятся приложения в строительной отрасли, где целесообразно использовать каждый из трех указанных типов АЦП, даны конкретные рекомендации.

Коротко рассмотрены цифро-аналоговые преобразователи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конигов А. И. Исследование возможностей спутниковой технологии VSAT в строительной отрасли // Бюллетень строительной техники. 2019. № 8. С. 54–55.
2. Конигов А. И. Перспективные направления в области информационных систем управления строительством // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 6. С. 64–69
3. Гинзбург А. В., Конигов А. И. Исследование ряда методов автоматизации в строительной отрасли // Системотехника строительства. Киберфизические строительные системы: сб. материалов семинара, проводимого в рамках VI Междунар. науч. конф. (Москва, 14–16 ноября 2018 г.). М.: МГСУ, 2018. С. 142–147.
4. Шубин В. И. Многогранность развития VSAT в России. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/mnogogrannost-razvitiya-v-rossii-vsaf> (дата обращения: 18.03.2019).
5. Konikov A., Konikov G. Big Data is a powerful tool for improving the environment in the construction business [Big Data – мощный инструмент для улучшения окружающей среды в строительном бизнесе] // IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 90. P. 012184.
6. Конигов А. И. Ситуационный центр управления эксплуатацией зданий // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 7. С. 84–87.
7. Конигов А. И. Исследование ряда аспектов использования технологии Big Data в строительстве // Бюллетень строительной техники. 2019. № 2. С. 28–29.
8. Konikov A., Kulikova E., Stifeeva O. Research of the possibilities of application of the Data Warehouse in the construction area [Исследование возможностей использования Хранилища Данных в строительстве] // MATEC. Web of Conferences 251. 2018. P. 03062.
9. Ivanov N., Gnevanov M. Big data: perspectives of using in urban planning and management [Большие данные: перспективы использования в городском

- планировании и управлении] // MATEC. Web of Conferences 170. 2018. P. 01107.
10. Гневанов М. В., Иванов Н. А. Технологии «больших данных» (Big Data) и их применение в градостроительном планировании // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 4. С. 83–87.
 11. Волынский В. Э. «Большие данные» в градостроительстве // Academia. Архитектура и строительство. 2017. № 2. С. 29–32.
 12. Kitchin R. The data revolution. Big Data, Open Data, Data infrastructures and their consequences [Революция данных. Большие данные, открытые данные, инфраструктура данных и их последствия]. Londres, SAGE Publ., 2014. 240 p.
 13. Kagan P. Big data sets in construction [Большие данные в строительстве] // E3S Web Conferences. International science conference SPbWOSCE-2018 "Business technologies for sustainable urban development". 2019. Vol. 110.
 14. Майер-Шенбергер В., Кукьер К. Большие данные. Революция, которая изменит то, как мы живем, работаем и мыслим. М. : Манн, Иванов и Фербер, 2014. 240 с.

R E F E R E N C E S

1. Konikov A. I. Research into the capabilities of VSAT satellite technology in the construction industry. *Bulleten' stroitel'noj tekhniki*, 2019, no. 8, pp. 54–55. (In Russian).
2. Konikov A. I. Promising areas in the field of information systems of construction management. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2019, no. 6, pp. 64–69. (In Russian).
3. Ginzburg A. V., Konikov A. I. Research of a number of automation methods in the construction industry. *Sistemotekhnika stroitel'stva. Kiberfizicheskie stroitel'nye sistemy : sbornik materialov seminara, provodimogo v ramkah VI Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii* [Construction system engineering. Cyberphysical building systems: a collection of materials from the seminar held as part of the VI International scientific conference]. (Moscow, November 14–16, 2018). Moscow, MGSU Publ., 2018, pp. 142–147. (In Russian).
4. Shubin V. I. *Mnogogrannost' razvitiya VSAT v Rossii* [Diversity of VSAT development in Russia]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/v/mnogogrannost-razvitiya-v-rossii-vsats> (accessed 18.03.2019). (In Russian).
5. Konikov A., Konikov G. Big Data is a powerful tool for improving the environment in the construction business. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2017, vol. 90, p. 012184.
6. Konikov A. I. Situational control center of buildings operation. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2018, no. 7, pp. 84–87. (In Russian).
7. Konikov A. I. Research of a number of aspects of using Big Data technology in construction. *Bulleten' stroitel'noj tekhniki*, 2019, no. 2, pp. 28–29. (In Russian).
8. Konikov A., Kulikova E., Stifeeva O. Research of the possibilities of application of the Data Warehouse in the construction area. *MATEC. Web of Conferences 251*, 2018, p. 03062.
9. Ivanov N., Gnevanov M. Big data: perspectives of using in urban planning and management. *MATEC. Web of Conferences 170*, 2018, p. 01107.
10. Gnevanov M. V., Ivanov N. A. Application of technologies "Big Data" in urban planning. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2018, no. 4, pp. 83–87. (In Russian).
11. Volynskov V. E. "Big data" in urban planning. *Academia. Arhitektura i stroitel'stvo*, 2017, no. 2, pp. 29–32. (In Russian).
12. Kitchin R. *The data revolution. Big Data, Open Data, Data infrastructures and their consequences*. Londres, SAGE Publ., 2014. 240 p.
13. Kagan P. Big data sets in construction. *E3S Web Conferences. International science conference SPbWOSCE-2018 "Business technologies for sustainable urban development"*, 2019, vol. 110.
14. Majer-Shenberger V., Kuk'er K. *Bol'shie dannye. Revoluciya, kotoraya izmenit to, kak my zhivyom, rabotaem i myslim* [Big data. A revolution that will change the way we live, work and think]. Moscow, Mann, Ivanov i Ferber Publ., 2014. 240 p. (In Russian).

Для цитирования: Коников А. И. Рациональный выбор преобразователей формы информации для автоматизированных систем в строительстве // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 1. С. 60–65. DOI: 10.33622/0869-7019.2020.01.60-65.

For citation: Konikov A. I. Rational Choice of Information Form Converters for Automated Systems in Construction. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo* [Industrial and Civil Engineering], 2020, no. 1, pp. 60–65. (In Russian). DOI: 10.33622/0869-7019.2020.01.60-65. ■