

# ФОРМИРОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ РЕАЛИЗАЦИИ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПРОГРАММ КОМПЛЕКСНОЙ СТАНДАРТИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА

**Антонов С.А.**, канд. экон. наук, доц., декан факультета менеджмента и инженерного бизнеса, заведующий кафедрой «Компьютерного моделирования и техносферной безопасности», Казанский инновационный университет имени В.Г. Тимирязова, г. Казань

*Цифровизация, как и стандартизация, являются инструментами повышения эффективности экономики, и их интеграция позволит получить синергетический эффект, выражающийся, в первую очередь, в сокращении транзакционных издержек межорганизационного взаимодействия. В статье представлен и обоснован разработанный алгоритм формирования SMART-стандартов на системы управления за счет формирования машинопонимаемого контента на основе принципов и подходов общей логики. В статье обоснована практическая применимость SMART-стандартов системы стандартизации экономики замкнутого цикла для реализации автоматизированных систем управления, в первую очередь для стандартов перспективных программ комплексной стандартизации этапов жизненных циклов продукции и ресурсов. Разработана модель цифрового двойника процессов управления на основе SMART-стандартов, а также предложен алгоритм создания агрегированного цифрового двойника системы менеджмента организации экономики замкнутого цикла.*

**Ключевые слова:** SMART-стандарты, экономика замкнутого цикла, стандартизация, машинопонимаемый контент, цифровой двойник.

**Цитирование:** Антонов С.А. Формирование цифровой инфраструктуры реализации перспективных программ комплексной стандартизации экономики замкнутого цикла // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования. 2024. № 4 (79). С. 88–94.

## ВВЕДЕНИЕ

Перед экспертным сообществом в области стандартизации стоят актуальные задачи обеспечения цифровой трансформации процессов разработки, совершенствования и использования стандартов. Одним из механизмов решения данных задач является создание SMART-стандартов, которые позволят обеспечить автоматизацию анализа и разработки, а также разработки документов стандартизации.

Еще в 2021 году началась работа по созданию единой системы SMART-стандартизации в Российской Федерации – образован проектный технический комитет по стандартизации № 711 «Умные (SMART) стандарты» (ПТК 711).

Одним из первых результатов его работы стало создание предварительного национального стандарта ПНСТ 864-2023 «Умные (SMART) стандарты. Общие положения». Помимо основного стандарта ПТК 711, разработаны предварительные стандарты, посвященные классификации объектов

стандартизации в рамках SMART-стандартов, и стандарт «Архитектура и форматы данных».

Анализ показал наличие подходов и инструментов для создания SMART-стандартов и информационных систем, обеспечивающих их разработку, несмотря на предварительный характер представленных документов, а именно подходы к формированию SMART-стандартов носят универсальный характер, но большинство из них ориентированы на автоматизацию работы с техническими стандартами и стандартами на продукцию. Данная ситуация требует доработки алгоритмов создания SMART-стандартов с учетом специфики стандартов на системы менеджмента.

Таким образом, основная задача заключается в адаптации существующих подходов к разработке SMART-стандартов для их применения в области стандартов на системы менеджмента. Необходимо проработать соответствующие алгоритмы и инструменты с учетом особенностей этой предметной области.

## ОСНОВНАЯ ПРОБЛЕМАТИКА СТАТЬИ

SMART-стандарты изначально были ориентированы на автоматизацию работы с техническими стандартами и стандартами на продукцию, что обусловлено необходимостью обеспечения полноценного функционирования цифровых двойников продуктов и технологических процессов.

Ключевым моментом является то, что SMART-стандарты позволяют автоматизировать процессы коррекции и обновления исходных требований цифровых двойников за счет перевода требований и параметров стандартов с естественного языка на машиночитаемый формат. Это создает предпосылки для разработки цифровых документов нового уровня, содержащих как человеко-, так и машиноориентированные данные, что необходимо для закрытия всех потребностей автоматизации.

Вместе с тем, как было отмечено, большинство существующих подходов к формированию SMART-стандартов все еще ориентированы на технические стандарты и стандарты на продукцию. Это требует определенной доработки алгоритмов создания SMART-стандартов с учетом особенностей стандартов на системы менеджмента, что позволит расширить сферу применения данного инструмента. [1].

Переход от традиционной формы представления требований стандартов к SMART-формату требует определенной подготовки и включает три основных вида содержания: машиночитаемое, машиноинтерпретируемое и машинопонимаемое. Формирование машиночитаемого содержания относительно простое, но для создания машиноинтерпретируемого и машинопонимаемого необходимо развивать соответствующие информационные сервисы, а также предварительно разрабатывать таксономические единицы и онтологию.

Анализ информационных блоков и элементов позволил их сгруппировать по четырем целевым ориентирам: идентификация, связи, критерии соответствия с численным содержанием и критерии соответствия с семантическим содержанием. Рассмотрим более детально распределение структурных элементов по данным группам.

### I группа. Идентификация.

1. Информационные блоки: атрибуты, сведения об электронных подписях.
2. Информационные элементы: атрибут, электронная подпись.

### II группа. Связи.

1. Информационные блоки: сопутствующие данные, нормативные ссылки, оглавление, библиографические данные.

2. Информационные элементы: структурный элемент, гиперссылка, ссылка на объект, ссылка на элемент классификатора.

### III группа. Критерии соответствия с численным содержанием.

1. Информационные блоки: текст, основные нормативные положения, приложения.
2. Информационные элементы: таблица, графическое изображение (2D), формула (математическая, химическая и др.), 3D-модель, база данных, файл, программный исполняемый код, показатель, параметр показателя.

### IV группа. Критерии соответствия с численным содержанием.

1. Информационные блоки: текст, титульный лист, предисловие, введение, область применения, термины и определения, основные нормативные положения, приложения, условия использования.
2. Информационные элементы: термин, сокращение, абзац, список, перечисление, таблица, файл, нормативное положение.

Формирование цифровых двойников на основе информационных структур SMART-стандартов, приведенных в цифровой форме, не вызывает особых сложностей в силу однозначности их трактовки. В случае решения задач формирования автоматизированных систем принятия управленческих решений, основанных на выполнении требований стандартов на системы менеджмента, возникает проблема трансформации семантических единиц в машиночитаемый формат. Отдельный интерес представляет концепт формирования машиночитаемых и машиноисполняемых норм права, обобщенный в работе Понкина И.В. [6]. В его статье, посвященной анализу направлений цифровых трансформаций в праве и элементов регуляторных технологий LegalTech (цифровых технологий в сфере права – PerTex или ЮpTex), предложены «детерминанты обеспечения машиночитаемости права в предназначенном для машиночитаемого и машиноисполняемого оперирования правовом акте». Такими детерминантами являются:

1. Повышенная четкость логической структуры и логическая разграниченность норм и частей акта, что в свою очередь подразумевает четкое выделение и организацию различных норм и частей правового акта, а также ясное определение иерархических и иных взаимосвязей между ними. Такая структура облегчает автоматическую обработку и интерпретацию правовых документов.
2. Наличие мета-разметки. Это включает использование тегов и аннотирования, которые помогают структурировать и формализовать правовой текст. Мета-разметка облегчает процесс машинного анализа, делая текст более доступным для алгоритмов обработки данных. При-

меры мета-разметки включают нумерацию, теги для выделения различных типов информации и другие элементы, которые добавляют дополнительный уровень структуры к документу.

3. Семантическая шаблонизация норм. Этот аспект предполагает использование типовых шаблонов и паттернов для выражения правовых норм. Придерживание правил коротких лексических конструкций и форм помогает сделать текст более предсказуемым и структурированным, что упрощает его автоматическую обработку. Инженерный стиль письма, характеризующийся точностью и краткостью, является предпочтительным в этом контексте.
4. Минимизированность бланкетных норм и абстрактно-декларативных норм. Это означает стремление к минимизации использования норм, которые требуют отсылок к другим документам или носят слишком общий характер. Такие нормы часто затрудняют автоматическую интерпретацию, поэтому их количество должно быть сведено к минимуму.

Все вышеперечисленные детерминанты справедливы и для разработки SMART-стандартов с учетом особенностей процессов стандартизации. Такие особенности были выявлены на основе анализа предложенных детерминант и их сопоставления с правилами разработки стандартов (ГОСТ Р 1.2–2020), существующими подходами к созданию документов стандартизации, структурной формализацией стандартов на основе «структуры высокого уровня» (HLS), а также применения декларативной семантики семейства языков общей логики. После трансформации вышеуказанные детерминанты обеспечения машиночитаемости и машиноисполняемого оперирования будут иметь следующий вид:

- повышенная четкость логической структуры и логическая разграниченность норм и частей стандарта на основе структуры высокого уровня HLS (High-Level Structure), что подразумевает четкое разделение и организацию различных частей и норм стандарта, что облегчает их интерпретацию и автоматизированную обработку;
- семантическая шаблонизация требований на основе правил общей логики и методик, учитывая метамодель абстрактного синтаксиса общей логики. Это включает использование типовых шаблонов и паттернов для формулировки требований, что делает их более структурированными и предсказуемыми для машинной обработки;
- максимально краткое и точное изложение требований, исключая различные толкования и достаточное для использования стандарта в соответствии с его областью применения. Это важно для обеспечения однозначности и понятности сформулированных норм и требований;
- минимизированность бланкетных норм с учетом сохранения гибкости исходного стандарта. Это означает сокращение использования общих и абстрактных

норм, которые могут быть трудны для автоматической интерпретации, однако сохранение гибкости позволяет стандарту адаптироваться к различным контекстам и изменениям.

Кроме того, необходимо сделать акцент на важности создания инструментальной онтологии и форматов представления информации на основе специально разрабатываемого лексикона, на основе гибридизации синтаксиса общей логики и специального метаязыка экономики замкнутого цикла (с мета-данными и с управленческо-техническими конструкциями в формализованно-цифровизированных онтологиях). Гибридизацию синтаксиса целесообразно осуществлять, последовательно применяя метамодель абстрактного синтаксиса общей логики к словарю и он-

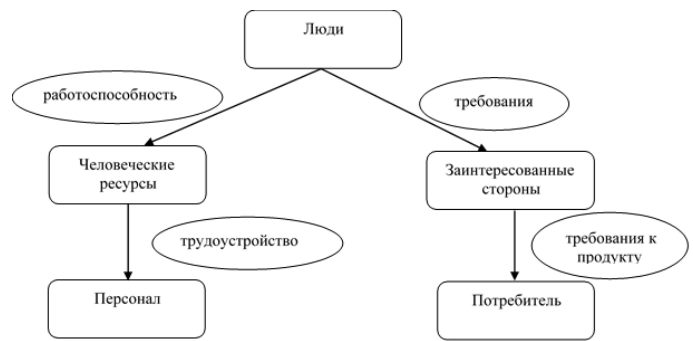


Рис. 1. Пример формирования словаря общей логики для SMART-стандартов на системы менеджмента

тологии систем менеджмента. Исходной базой является так называемый лексикон, который в определении стандарта ГОСТ Р 59791–2021 «Информационные технологии. Общая логика (CL). Основы семейства языков, основанных на логике» [2], является набором имен (т.е. словарем лексикона), набором маркеров последовательности и набором заголовков. В качестве источника данной базы целесообразно выбрать основные определения и термины ИСО 9000–2015 [3]. В качестве примера необходимости создания такого словаря можно проанализировать термин «человеческие ресурсы» из ИСО 9000–2015.

На основании представленного примера видна необходимость реверсной декомпозиции терминов и понятий для формирования общего словаря V, на основании которого формулируются соответствующие термины как вне дискурса, так и в рамках дискурса экономики замкнутого цикла. Дальнейший процесс формирования машинопонимаемого контента направлен на построение выражений и утверждений.

Алгоритм создания машинопонимаемого контента представлен на рис. 2.

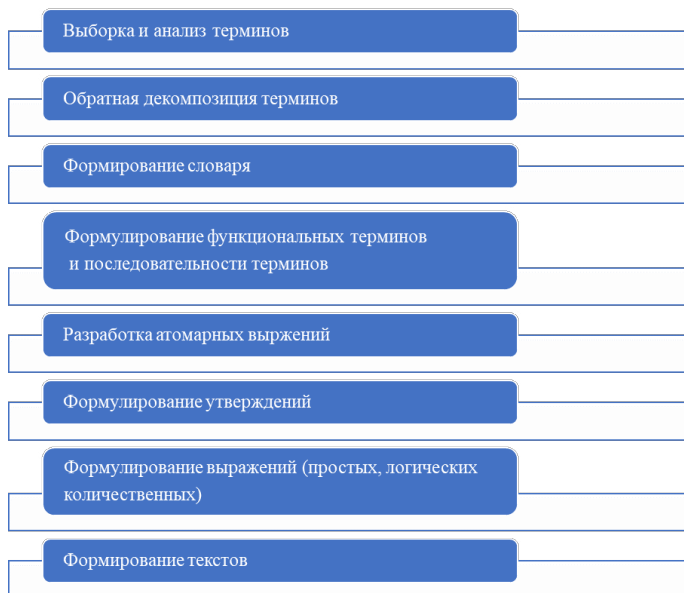


Рис.2. Алгоритм создания машинопонимаемого контента

SMART-стандарты играют ключевую роль в автоматизации систем управления, особенно в контексте экономики замкнутого цикла (ЭЗЦ). Оценку применимости целесообразно провести с учетом специфики стандартов соответствующих программ стандартизации. Наиболее применимыми для практической реализации автоматизированных систем управления представляются стандарты перспективных программ комплексной стандартизации этапов жизненных циклов продукции и ресурсов. В первую очередь это касается стандартов, регламентирующих процессы проектно-производственного этапа жизненного цикла продукции. Применение SMART-стандартов для автоматизации процессов проектирования и разработки технологий производства продукции обосновывается рядом специалистов. В то же время стандарты на системы управления, в отличие от стандартов продукции, в большинстве своем не содержат количественных параметров, формализация и перевод в машинопонимаемый вид которых позволяет автоматизировать отдельные этапы процессов проектирования. Данные обстоятельства, в свою очередь, требуют коррекции области применения таких SMART-стандартов. Автор считает, что SMART-стандарты ЭЗЦ должны быть предназначены для автоматизации процессов планирования, организации и контроля проектирования и, в частности, автоматизации формирования технического задания на проектирование продукции с учетом требований экономики замкнутого цикла, анализа и верификации проектов.

Перспективные программы комплексной стандартизации для различных этапов жизненного цикла продукции в рамках экономики замкнутого цикла предлагают разнообразные применения SMART-стандартов, ориентированные

на автоматизацию процессов и повышение эффективности управления.

Применение SMART-стандартов на каждом этапе жизненного цикла продукции позволяет обеспечить точное и эффективное управление процессами, автоматизировать ключевые операции и улучшить мониторинг и контроль над достижением целей, связанных с экономикой замкнутого цикла.

Автор систематизировал основные проблемы, с которыми сталкиваются экономические субъекты на этапе цифровой трансформации:

- разнородность классификационных признаков объекта стандартизации;
- несоответствие общероссийских и внутренних классификаторов нормативным документам;
- несоответствие наименований объекта стандартизации терминологии из нормативных документов;
- отсутствие согласованности наименований характеристик объекта стандартизации;
- отсутствие однозначного понимания обязательности и набора характеристик объекта стандартизации;
- отсутствие однозначного применения единиц измерения характеристик объекта стандартизации;
- нарушение или отсутствие связей с общероссийскими классификаторами;
- трудоемкость создания и ведения справочников нормативно-справочной информации (НСИ);
- отсутствие методологии формирования и управления объектом стандартизации [5].

Обобщая выше сказанное, автором предложено использовать возможности эмуляции системы управления организацией замкнутого цикла в виде цифрового двойника. Для целей настоящего исследования под цифровым двойником системы менеджмента будем понимать программный (виртуальный) аналог системы реальных процессов организации, воспроизводящий ее структуру, состояние, а также динамику изменения во времени.



Рис. 3. Взаимодействие элементов цифрового двойника системы менеджмента организации

При формировании цифрового двойника системы менеджмента определим значимые взаимодействующие элементы операционного пространства в котором такая система существует:

$$S_{t+1} = f(S_t, U, E, D) \tag{1}$$

- система менеджмента как объект управления;
- органы управления организацией как субъект управления;
- среда функционирования процессов как набор внешних факторов оказывающих влияние на организацию;
- помехи, деструктивные воздействия, несоответствия как внутренние слабые стороны организации.

$$U_{t+1} \triangleq F\left[S_{t_i} \xrightarrow[\Delta t]{R} S_{t_{i+1}}, K_{t_i}\right] \tag{2}$$

Взаимодействие указанных элементов представлено на рис. 3.

Состояние системы менеджмента  $S_{t+1}$  является функцией от первичного состояния  $S_t$ , соответствующего управляющего воздействия  $U$  с учетом состояния внешней среды  $E$  и влияния помех  $D$ .

Управляющее воздействие  $U$  должно учитывать как первичное состояние системы  $S_t$ , так и влияние внешних факторов  $E$  и внутренних деструктивных воздействий  $D$ . Ограничениями перехода системы менеджмента в новое состояние являются ресурсы  $R$  и временной отрезок изменений  $\Delta t$ .

$$S_{t_i} = f\left(\sum_{j=1}^N \alpha^j * s_{t_i}^j\right) \tag{3}$$

$$P_{t_i} = f\left(\sum_{j=1}^N \beta^j * p_{t_i}^j\right) \tag{4}$$

Управляющее воздействие в таком случае, согласно работе [4], будет выглядеть следующим образом:

где «параметр  $K_{t_i} = (I(S_{t_i}), I(E_{t_i}), I(D_{t_i}), I(U_{t_i}))$  представляет собой объективизированные знания, накопленные к моменту времени  $t_i$  (в цифровых двойниках – информационных контейнерах знаний) как результат субъективной интерпретации  $I(\cdot)$  сведений о состоянии объекта управления  $S_{t_i}$  операционной среды  $E_{t_i}$ , (возможного) злонамеренного воздействия и самого органа управления  $U_{t_i}$ » [4].

Целесообразно представить состояние объекта управле-

$$U_{t_i} = U_{t_i}^{in} \cup U_{t_i}^{out} \tag{4.5}$$

ния (системы менеджмента) в виде функциональной зависимости от взвешенной суммы состояний отдельных процессов организации (3).

В качестве цифрового двойника состояния системы в данном случае целесообразно выбрать интегрированную математическую модель, описывающую функциональную зависимость конечного результата деятельности организации, описываемого такими показателями как выработка, прибыль или рентабельность, от значений критериев результативности отдельных процессов системы менеджмента (4).

В свою очередь множество управляющих воздействий в конкретный период времени целесообразно классифицировать по основанию влияния на внешние или внутренние

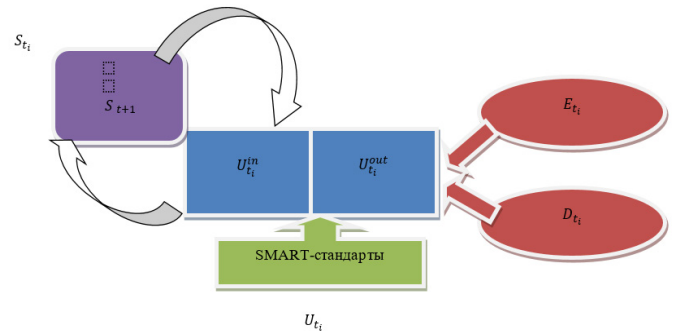


Рис. 4. Модель цифрового двойника процессов управления на основе SMART-стандартов

факторы относительно системы.

Управляющее воздействие  $U_{t_i}^{out}$  направлено на минимизацию влияния негативных факторов операционной среды  $E_{t_i}$  и помех (деструктивного воздействия) внутренней среды  $D_{t_i}$ , а также на максимизацию положительных факторов операционной среды  $E_{t_i}$ . Управляющее воздействие направлено на трансформацию зависимости (3) в целях максимизации конечного результата.

Применение SMART-стандартов для формирования цифрового двойника процессов управления возможно в качестве прообраза управленческого воздействия, действенность которого можно будет оценить посредством определения максимального результата при минимальных уровнях негативного влияния внешних и внутренних факторов.

Использование цифровых двойников для решения ключевых задач в управлении и оптимизации процессов экономики замкнутого цикла позволяет добиться значительных преимуществ. Основные задачи, решаемые посредством цифровых двойников, включают:

1. Проведение тестового запуска процесса или производственной цепочки быстро и без существенных вложений: цифровые двойники позволяют создать виртуальную модель производственной цепочки или процесса, что позволяет проводить тестовые запуски и оптими-

- зации без необходимости реальных вложений в физическую инфраструктуру. Это ускоряет внедрение новых технологий и процессов.
2. Обнаружение проблемы или уязвимости до того, как будет запущено производство или объект поступит в эксплуатацию: цифровые двойники могут моделировать различные сценарии и выявлять потенциальные проблемы или уязвимости на ранних стадиях разработки. Это позволяет своевременно вносить коррективы и предотвращать возможные сбои в будущем.
  3. Повышение эффективности процессов или систем, отследив все сбои еще до старта: с помощью цифровых двойников можно анализировать и оптимизировать процессы, устраняя узкие места и повышая общую эффективность системы. Это включает в себя анализ потоков материалов, энергии и информации для достижения максимальной производительности.
  4. Снижение рисков, в том числе финансовых, а также связанных с безопасностью для жизни и здоровья персонала: цифровые двойники позволяют провести детализированный анализ рисков и разработать стратегии их минимизации. Это включает в себя оценку финансовых рисков, а также оценку безопасности для персонала, что помогает создать более безопасные и экономически эффективные рабочие условия.
  5. Строительство долгосрочных прогнозов и планирование развития компании или продукта на годы вперед: используя данные, полученные от цифровых двойников, компании могут разрабатывать долгосрочные прогнозы и стратегические планы. Это позволяет учитывать различные сценарии развития и адаптироваться к изменениям на рынке и в технологии.
- Эти задачи помогают компаниям не только улучшать текущие процессы и продукты, но и обеспечивают устойчивое развитие и конкурентное преимущество в долгосрочной перспективе.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало практическую применимость SMART-стандартов системы стандартизации экономики замкнутого цикла для реализации автоматизированных систем управления, в первую очередь для стандартов перспективных программ комплексной стандартизации этапов жизненных циклов продукции и ресурсов. Разработана модель цифрового двойника процессов управления на основе SMART-стандартов, а также предложен алгоритм создания агрегированного цифрового двойника системы менеджмента организации замкнутого цикла.

## Список использованных источников и литературы

1. «Техэксперт»: SMART-стандарты – основа для создания цифровых двойников // СФЕРА. НЕФТЬ И ГАЗ. – 2022. – № 3 (86). – с. 20–24. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://сферанефтьигаз.рф/upload/articles/pdf/sphereoilandgas\\_2022-3\\_kodeks.pdf](https://сферанефтьигаз.рф/upload/articles/pdf/sphereoilandgas_2022-3_kodeks.pdf)
2. ГОСТ Р 59791–2021 «Информационные технологии. Общая логика (CL). Основы семейства языков, основанных на логике» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://internet.garant.ru/#/document/405973375> (дата обращения: 10.06.2024).
3. ГОСТ Р ИСО 9000–2015 «Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://internet.garant.ru/#/document/71283064> (дата обращения: 10.06.2024).
4. Каменик Л.Л. Генеральные направления стратегии управления отходами // Экономика и управление. – 2013. – № 12 (9b). – С. 63.
5. ПНСТ 864–2023 Умные (SMART) стандарты. Общие положения.
6. Понкин И.В. Концепт машиночитаемого и машиноисполняемого права: актуальность, назначение, место в PerTехе, содержание, онтология и перспективы // International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – № 9.

# FORMATION OF DIGITAL INFRASTRUCTURE FOR THE IMPLEMENTATION OF PROSPECTIVE PROGRAMS OF COMPREHENSIVE STANDARDIZATION OF THE CLOSED-LOOP ECONOMY

**Antonov S.A.**, PhD (Economics), associate professor, the Dean of Faculty of Management and Engineering Business, the Head of Computer Modeling and Technosphere safety Department, Kazan Innovative University named after V.G. Timiryasov, Kazan

*Digitalization, like standardization, are tools for increasing the efficiency of the economy, and their integration will allow obtaining a synergistic effect, expressed, first of all, in reducing transaction costs of interorganizational interaction. The article presents and substantiates the developed algorithm for the formation of SMART standards for management systems by forming machine-understandable content based on the principles and approaches of general logic. The article substantiates the practical applicability of SMART standards of the closed-loop economy standardization system for the implementation of automated management systems, primarily for standards of promising programs for comprehensive standardization of stages of product and resource life cycles. A model of a digital twin of management processes based on SMART standards has been developed, and an algorithm for creating an aggregated digital twin of the management system of a closed-loop economy organization has been proposed.*

**Keywords:** SMART standards, circular economy, standardization, machine-readable content, digital twin.

**For citation:** Antonov S.A. Formation of digital infrastructure for the implementation of prospective programs of comprehensive standardization of the closed-loop economy. Information and Economic Aspects of Standardization and Technical Regulation. 2024; 4 (79): 88–94. (In Russ.).

## References

1. «TechExpert»: SMART standards - the basis for creating digital twins // SPHERE. OIL AND GAS. – 2022. – № 3 (86). – Pp. 20–24. [Electronic resource]. Access mode: [https://сферанефтьгаз.рф/upload/articles/pdf/sphereoilandgas\\_2022-3\\_kodeks.pdf](https://сферанефтьгаз.рф/upload/articles/pdf/sphereoilandgas_2022-3_kodeks.pdf)
2. GOST R 59791–2021 «Information technology. General logic (CL). Fundamentals of the family of logic-based languages» [Electronic resource]. Access mode: <https://internet.garant.ru/#/document/405973375> (date of access: 10.06.2024).
3. GOST R ISO 9000–2015 «Quality management systems. Fundamentals and vocabulary» [Electronic resource]. Access mode: <https://internet.garant.ru/#/document/71283064> (date of access: 10.06.2024).
4. Kamenik L.L. General directions of waste management strategy // Economy and management. – 2013. – No. 12 (9b). – P. 63.
5. PNST 864-2023 Smart (SMART) standards. General provisions.
6. Ponkin I.V. The concept of machine-readable and machine-executable law: relevance, purpose, place in RegTech, content, ontology and prospects // International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – No. 9.