ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ПНСТ 429— 2020

Умное производство

ДВОЙНИКИ ЦИФРОВЫЕ ПРОИЗВОДСТВА

Часть 1

Общие положения

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2020

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Акционерным обществом «Всероссийский научно-исследовательский институт сертификации» (АО «ВНИИС») и Акционерным обществом «Российская венчурная компания» (АО «РВК»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 194 «Кибер-физические системы»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 7 августа 2020 г. № 38-пнст

Правила применения настоящего стандарта и проведения его мониторинга установлены в ГОСТ Р 1.16—2011 (разделы 5 и 6).

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии собирает сведения о практическом применении настоящего стандарта. Данные сведения, а также замечания и предложения по содержанию стандарта можно направить не позднее чем за 4 мес до истечения срока его действия разработчику настоящего стандарта по адресу: 121205 Москва, Инновационный центр Сколково, улица Нобеля, д. 1, e-mail: gost.e-ecolog.ru *в Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии: 109074 Москва, Китайгородский проезд, д. 7, стр. 1.*

*В случае отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты» и также будет размещена на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Стандартинформ, оформление, 2020

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения . . . 1
2 Нормативные ссылки . . . 1
3 Термины и определения . . . 1
3.1 Общие термины . . . 1
3.2 Термины, связанные с цифровыми двойниками производства . . . 3
4 Сокращения . . . 3
5 Общие положения . . . 3
5.1 Концепция цифровых двойников производства . . . 3
5.2 Цифровые двойники производства . . . 3
5.3 Приложения и сервисы цифровых двойников производства . . . 4
5.4 Преимущества цифровых двойников производства . . . 5
5.5 Элементы цифровых двойников производства . . . 5
6 Основополагающие принципы структуры цифрового двойника производства . . . 6
6.1 Общие положения . . . 6
6.2 Область применения стандартизации структуры цифровых двойников производства . . . 6
6.3 Иерархическое моделирование цифровых двойников производства . . . 7
6.4 Требования к цифровым двойникам производства . . . 7

Введение

Цифровой двойник производства представляет собой детальное моделирование конфигураций физических сущностей и динамическое моделирование изменений продукции, процесса и ресурсов в процессе производства.

Цифровой двойник производства основан на цифровой модели, которая постоянно обновляется и изменяется по мере изменения физического аналога с целью синхронного представления состояния, условий работы, конфигурации продукта и состояния ресурсов.

Представление цифрового двойника производства позволяет цифровому двойнику постоянно взаимодействовать с визуальными производственными элементами путем обмена эксплуатационными данными и данными об условиях эксплуатации.

С помощью представления цифрового двойника производства можно обнаружить аномалии в производственных процессах и достичь различных функциональных целей, таких как управление в режиме реального времени, аналитика в автономном режиме, проверка работоспособности, предиктивное обслуживание, синхронизированный мониторинг/оповещения, оптимизация управления производственным процессом (МОМ), адаптация процесса, анализ больших данных, машинное обучение и т. д.

Наглядность процесса и реализации, обеспечиваемые цифровым двойником производства, повышают деловое взаимодействие и множество других показателей эффективности.

В серии стандартов ПНСТ «Умное производство. Двойники цифровые производства» определена структура цифровых двойников производства как виртуального представления физических элементов производственного процесса, таких как персонал, продукты производства, активы и описание процессов. Цифровой двойник производства представляет собой детальное моделирование конфигураций физических сущностей и динамическое моделирование изменений продукта, процесса и ресурсов в процессе производства. Области применения четырех частей серии стандартов ПНСТ «Умное производство. Двойники цифровые производства» представлены ниже:

- часть 1. Общие положения.

В данном стандарте представлены общие положения и основополагающие принципы цифровых двойников производства, а также руководящие указания по созданию структуры цифровых двойников производства;

- часть 2. Типовая архитектура.

В данном стандарте определены цели и задачи типовой архитектуры, типовой модели и представления типовой архитектуры;

- часть 3. Цифровое представление физических производственных элементов.

В данном стандарте определены физические элементы структуры цифровых двойников производства, которые должны быть представлены в цифровых моделях;

- часть 4. Обмен информацией.

В данном стандарте установлены технические требования к синхронизации данных и обмену данными в рамках цифровых двойников производства.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Умное производство

ДВОЙНИКИ ЦИФРОВЫЕ ПРОИЗВОДСТВА

Часть 1

Общие положения

Smart manufacturing. Digital manufacturing twins. Part 1. General principles

Срок действия — с 2021—01—01
до 2024—01—01

1 Область применения

В настоящем стандарте представлены общие положения и основополагающие принципы цифровых двойников производства*, а также руководящие указания по созданию структуры цифровых двойников производства.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использована нормативная ссылка на следующий стандарт:

ГОСТ Р МЭК 62264-1 Интеграция систем управления предприятием. Часть 1. Модели и терминология

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 Общие термины

3.1.1 **исполнительное устройство** (actuator): Устройство, предназначенное для запуска физического действия при получении входного сигнала.

---

* В настоящем стандарте под производством понимается машиностроительное производство.

3.1.2

производственный участок (area): Физическая, территориальная или логическая группа объектов, определяемая в рамках производственной площадки.

[ГОСТ Р МЭК 62264-1—2014, пункт 3.1.2]

3.1.3 **контроль** (control): Целенаправленное действие в процессе или над ним для достижения определенных целей.

3.1.4

элемент (element): Базовая часть системы, имеющая характеристики состояния, поведения и идентификации.

[ГОСТ Р ИСО 14258—2008, пункт 2.2.4]

3.1.5

предприятие (enterprise): Одна или несколько организаций, имеющих определенное назначение, общие цели и задачи по выпуску конкретной продукции или предоставлению определенных услуг.

[ГОСТ Р МЭК 62264-1—2014, пункт 3.1.10]

3.1.6 **сущность** (entity): Обособленно существующий предмет (материальный или нематериальный).

3.1.7 **Интернет вещей** (Internet of Things, IoT): Инфраструктура взаимосвязанных сущностей, систем и информационных ресурсов, а также служб, позволяющих обрабатывать информацию о физическом и виртуальном мире и реагировать на нее.

3.1.8 **управление** (management): Направление деятельности, контроль и координация работ, выполняемых для производства продукции или предоставления услуг.

3.1.9 **физический элемент** (physical element): Элемент, имеющий материальное существование в реальном мире.

3.1.10

ресурс (resource): Любое устройство, инструмент и средства, за исключением сырья и компонентов конечной продукции, имеющихся в расположении предприятия для производства товаров и услуг.

[ГОСТ Р ИСО 15531-1—2008, пункт 3.6.43]

3.1.11

датчик (sensor): Средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающийся непосредственному восприятию наблюдателем (по РМГ 29).

[ГОСТ Р 51086—97, статья 1]

3.1.12

задача (task): Деятельность, необходимая для достижения цели.

[ГОСТ Р ИСО 9241-11—2010, пункт 3.9]

3.1.13

верификация (verification): Подтверждение посредством представления объективных свидетельств того, что установленные требования были выполнены.

[ГОСТ Р ИСО 9000—2015, статья 3.8.12]

3.1.14

валидация (validation): Подтверждение посредством представления объективных свидетельств того, что требования, предназначенные для конкретного использования или применения, выполнены.

[ГОСТ Р ИСО 9000—2015, статья 3.8.13]

3.2 Термины, связанные с цифровыми двойниками производства

3.2.1 **цифровая сущность** (digital entity): Любой вычислительный элемент или элемент данных.

Примечание — Цифровая сущность может существовать как облачная служба в центре обработки данных, а также как сетевой элемент или как шлюз.

3.2.2 **цифровая модель** (digital model): Информационная дискретная модель, сформированная для обработки на компьютере.

3.2.3 **цифровой двойник** (digital twin): Программно-аппаратный комплекс, реализующий комплексную динамическую модель для исследования и управления деятельностью социотехнической системы.

3.2.4

производственный процесс (manufacturing process): Структурированный комплекс видов деятельности или работ, выполняемых с материалом для перевода его из сырья или заготовки в завершенное в дальнейшем состояние.

Примечание — Производственные процессы могут быть организованы по схеме процесса, продукта на основе участия различных подразделений или по установленной схеме. Производственные процессы могут планироваться для поддержания уровня запасов, выполнения заказов, сборки в соответствии с заказом и т. д. на основе стратегического применения и размещения запасов.

[ГОСТ Р ИСО 15531-1—2008, пункт 3.6.25]

3.2.5 **представление цифрового двойника** (digital twin representation): Отображение цифрового двойника в человекочитаемом или машиночитаемом формате.

3.2.6

визуализация (visualization): Процесс использования отображений информации об изделии и информации о представлении для создания отображения.

[ГОСТ 33707—2016, статья 4.146]

Примечание — Примером визуализации является изображение на дисплее станка с ЧПУ, фрезерующего алюминиевый корпус.

3.2.7 **точка зрения** (view/viewpoint): Проекция модели, рассматриваемая с определенной целью и в которой отсутствуют сущности, не относящиеся к выбранной цели.

4 Сокращения

В настоящем стандарте применено следующее сокращение:

ЧПУ — числовое программное управление (Computer Numerical Control, CNC).

5 Общие положения

5.1 Концепция цифровых двойников производства

Цифровой двойник производства может существовать на протяжении всего жизненного цикла и может использовать аспекты виртуальной среды (высокая точность, мультифизические возможности, внешние источники данных и т. д.), вычислительные методы (виртуальное тестирование, оптимизация, прогнозирование и т. д.), а также аспекты физической среды (динамика показателей производительности, отзывы клиентов, стоимость и т. д.) для улучшения элементов всей системы (конструкции, поведения, технологичности и т. д.).

5.2 Цифровые двойники производства

Цифровой двойник производства представляет собой цифровую модель (рисунок 1), которая постоянно обновляется и изменяется по мере изменения физического аналога с целью синхронного представления данных о статусе, условиях работы, конфигурации продукта и состоянии ресурсов.



Рисунок 1 — Концепция цифровых двойников производства

Представление цифрового двойника позволяет цифровому двойнику постоянно взаимодействовать с физическими производственными элементами путем обмена эксплуатационными данными и данными об условиях окружающей среды.

С помощью представления цифрового двойника можно обнаружить аномалии в производственных процессах и достичь различных функциональных целей, таких как управление в режиме реального времени, получение аналитики в автономном режиме, проверка работоспособности, предиктивное обслуживание, синхронизированный мониторинг/оповещения, оптимизация управления производственным процессом (MOM), адаптация во время процесса, анализ больших данных, машинное обучение и т. д.

Использование цифрового двойника производства увеличивает показатели эффективности в цикле планирования и валидации, в соблюдении графика производства, улучшении понимания производственных элементов, динамическом управлении рисками, снижении затрат и т. д.

Примеры приложений, сервисов и преимуществ их использования приведены в 5.3 и 5.4.

5.3 Приложения и сервисы цифровых двойников производства

5.3.1 Управление в режиме реального времени

Приложение, работающее в режиме реального времени, использует текущее состояние цифровых двойников производства для внесения изменений в производственный процесс в режиме реального времени.

5.3.2 Аналитика в автономном режиме

Приложение, работающее в автономном режиме, использует изменившееся состояние цифровых двойников производства для формирования рекомендаций о производственном процессе.

5.3.3 Предиктивное обслуживание

Приложение предиктивного обслуживания, работающее в режиме реального времени или автономном режиме, использует цифровые двойники производства для планирования и адаптации мероприятий по обслуживанию производственного оборудования.

5.3.4 Проверка работоспособности

Приложение для проверки работоспособности использует цифровые двойники производства для проверки физических элементов и производственных процессов и при необходимости планирует предиктивное обслуживание.

5.4 Преимущества цифровых двойников производства

5.4.1 Планирование и валидация в цикле

Цифровой двойник производства позволяет проводить планирование, валидацию и адаптацию производственных процессов в цикле с использованием эмуляции.

5.4.2 Соблюдение плана производства

Цифровой двойник производства позволяет контролировать производство в режиме реального времени с целью динамического управления объемом производства и соответствия производственному плану.

5.4.3 Улучшенное понимание производственных элементов

Информация о наблюдаемых производственных элементах, содержащихся в цифровом двойнике производства, позволяет планировать производство и производственные планы.

5.4.4 Динамическое управление рисками

Приложения цифровых двойников производства, такие как управление в режиме реального времени, аналитика в автономном режиме, предиктивное обслуживание, проверка работоспособности и т. д., позволяют улучшить прогнозирование и управление текущими и будущими рисками.

5.4.5 Снижение затрат

Цифровые двойники производства уменьшают затраты на производство и управление.

5.5 Элементы цифровых двойников производства

5.5.1 Наблюдаемые производственные элементы

Наблюдаемый производственный элемент имеет видимое физическое присутствие или функционал в производственных процессах.

5.5.1.1 Персонал

Персонал в производстве, как правило, включает тех сотрудников, которые прямо или косвенно вовлечены в производственные процессы.

Примечание — В цифровом двойнике производства доступность и уровень компетенции персонала являются примерами цифровых представлений.

5.5.1.2 Оборудование

Оборудование — это физический элемент, выполняющий функционал, который прямо или косвенно участвует в производственных процессах. Примерами оборудования являются ручной инструмент, станок с ЧПУ, конвейерная лента, роботы и т. д.

5.5.1.3 Материал

Материалом является физическая материя, которая становится целым продуктом или его частью, например металлический корпус, или используется для облегчения производственных процессов, т. е. чистящая жидкость, охлаждающая жидкость и т. д.

5.5.1.4 Процесс

Процессы включают производственные процессы, процессы обслуживания, процессы управления и т. д.

5.5.1.5 Инфраструктура

Инфраструктура связана с производством или оказывает определенное влияние на производственные процессы. Примерами инфраструктуры являются помещения специального назначения, здания, энергоснабжение, водоснабжение, устройства управления условиями эксплуатации и т. д.

5.5.1.6 Условия эксплуатации

Условия эксплуатации — это те необходимые условия, которые должны быть обеспечены предприятиями для выполнения производственного процесса. Примерами условий эксплуатации являются температура, влажность, освещенность и т. д.

5.5.1.7 Продукт

Продуктом является определенный результат или побочный продукт производственного процесса. В зависимости от стадии производственного процесса с точки зрения бизнеса продукт может быть классифицирован как промежуточный продукт или как конечный продукт.

5.5.2 Цифровые сущности

5.5.2.1 Приложение цифрового двойника производства

Приложение цифрового двойника производства использует представление цифрового двойника для предоставления данных о текущем состоянии производственного оборудования и операций или внесения в них изменений.

5.5.2.2 Описание продукта

Описанием продукта является спецификация свойств продукта, необходимых для того, чтобы его охарактеризовать, например таких, как размеры, допуски, отделка поверхности и т. д.

5.5.2.3 Описание процесса

Описанием процесса является спецификация компетенций персонала, оборудования, физических активов, материальных ресурсов и операций, необходимых для выполнения производственного процесса.

6 Основополагающие принципы структуры цифрового двойника производства

6.1 Общие положения

Структура цифрового двойника производства содержит рекомендации о том, каким образом построить систему цифрового двойника производства и как приложения и источники данных могут взаимодействовать для целей цифрового двойника производства, но не определяет конкретных технологий их реализации.

6.2 Область применения стандартизации структуры цифровых двойников производства

На рисунке 2 показана верхнеуровневая концепция цифрового двойника производства. Цифровой двойник, изображенный как представление цифрового двойника, и физический мир, представленный как физическое производство, связаны и синхронизированы между собой через среду сбора данных и управления устройствами. Синхронизация между цифровыми сущностями и физическими производственными элементами как в режиме реального времени, так и в автономном режиме обеспечивает постоянную оптимизацию производственных систем, так как цифровые двойники получают данные о производительности физической системы в режиме реального времени.

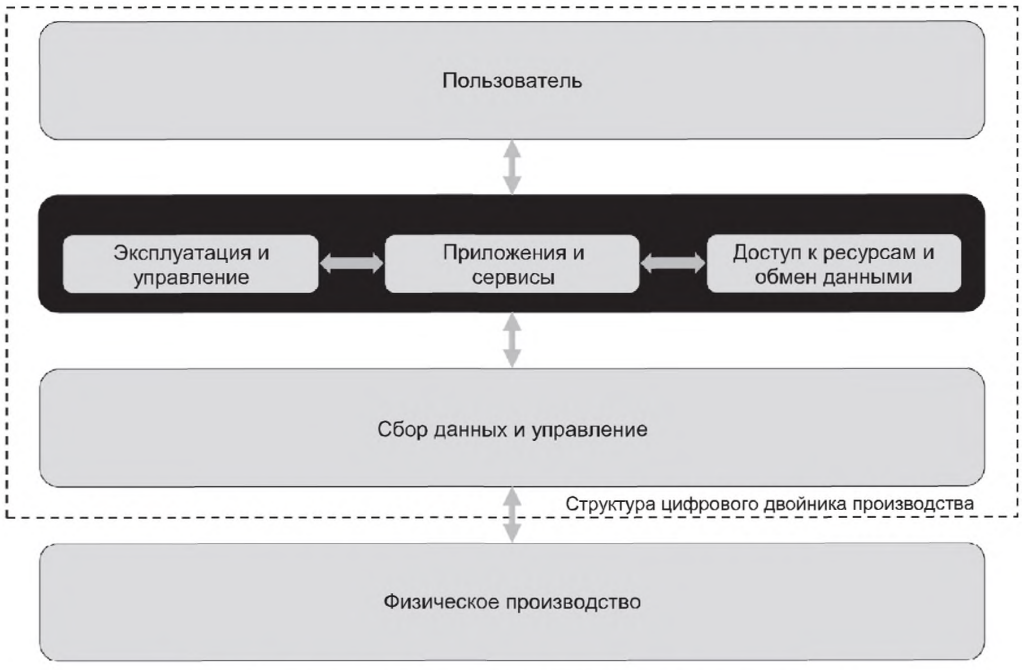


Рисунок 2 — Концепция структуры цифрового двойника производства

Цифровой двойник производства зависит от назначения и может быть частичным представлением физической системы. Он может состоять исключительно из тех соответствующих данных и моделей, которые специально разработаны для их целевого назначения.

6.3 Иерархическое моделирование цифровых двойников производства

Система цифровых двойников производства может быть реализована на различных уровнях абстракции, т. е. на уровне станков, производственного участка, сущности, предприятия и т. д. Структура цифровых двойников производства может быть применена ко всем уровням функциональной и ролевой иерархии, определенной в ГОСТ Р МЭК 62264-1.

6.4 Требования к цифровым двойникам производства

6.4.1 Общие требования

6.4.1.1 Сбор данных

Система цифровых двойников производства должна осуществлять сбор данных с датчиков, установленных на производственном оборудовании или около него.

Примечание — Датчики для идентификации и/или обнаружения присутствия персонала могут быть установлены в специальных устройствах контроля доступа.

6.4.1.2 Взаимодействие

Между элементами цифровых двойников производства должен происходить обмен данными или информацией.

6.4.1.3 Представление

Информация должна быть представлена в визуальном и/или машиночитаемом формате, который может быть распознан человеком или компьютером. Примерами такого формата являются аудио, видео, изображение, текст, битовый поток данных и т. д.

6.4.1.4 Анализ данных

Данные, полученные в процессе производства, следует анализировать для извлечения информации о состоянии наблюдаемых производственных элементов. При анализе метрологических данных должны учитывать показатели точности, допустимого интервала контроля показателя и специфические особенности метрологической модели цифрового двойника.

6.4.1.5 Управление

Структура цифровых двойников производства должна обеспечивать управление соответствующими элементами цифровых двойников в рамках производственной задачи.

6.4.1.6 Синхронизация

В реализации цифровых двойников производства виртуальные элементы и связанные с ними данные должны быть своевременно связаны с соответствующим физическим или функциональным элементом и данными.

6.4.1.7 Хранилище данных

Хранилище данных предназначено для постоянного или временного хранения данных с целью моделирования, обмена, анализа или архивирования данных и т. д.

6.4.1.8 Эмуляция

Представление цифровых двойников производства должно включать в себя моделирование поведения производственной системы в процессе эксплуатации.

6.4.1.9 Схема

Представление цифровых двойников производства должно поддерживать различные схемы в соответствии с конкретными целями.

6.4.2 Требования к моделированию цифровых двойников производства

6.4.2.1 Точность

Цифровой двойник производства должен описывать соответствующие аспекты своего физического аналога с учетом метрологических показателей и метрологической модели цифрового двойника.

6.4.2.2 Интероперабельность

Должна быть обеспечена интероперабельность цифрового двойника производства для его интеграции, добавления новых элементов или модернизации.

6.4.2.3 Совместимость

Цифровой двойник производства должен быть совместим с другими типами цифровых моделей в рамках данной системы цифровых двойников производства. Совместимость цифровых моделей долж-

на быть обеспечена с учетом особенностей метрологических моделей цифровых двойников производства.

6.4.2.4 Масштабируемость

Цифровой двойник производства должен обеспечивать возможность просмотра в различных масштабах для разных задач.

6.4.3 Требования к обмену информацией

6.4.3.1 Регулярное сетевое взаимодействие

Обмен информацией между субъектами системы цифровых двойников производства должен быть осуществлен в течение заданного времени с заданной частотой с использованием надлежащих сетевых протоколов.

6.4.3.2 Синхронизация

Статус цифровых сущностей в представлении цифровых двойников производства должен быть синхронизирован со статусом наблюдаемых производственных элементов или, наоборот, путем регулярного сетевого взаимодействия.

6.4.3.3 Точность информации

Информация, передаваемая между субъектами системы цифровых двойников производства, должна быть точной. Точность информации обеспечивается применением метрологических показателей в математической модели цифрового двойника.

6.4.3.4 Целостность

Информация не должна изменяться в процессе обмена, за исключением случаев преднамеренного изменения субъектами, имеющими право на внесение изменений.

УДК 004.738:006.354 ОКС 25.040.01

Ключевые слова: умное производство, цифровой двойник производства, структура цифрового двойника производства, общие положения

БЗ 9—2020

Редактор *Л.С. Зимилова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *О.В. Лазарева*
Компьютерная верстка *Л.А. Круговой*

Сдано в набор 11.08.2020. Подписано в печать 14.08.2020. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,40. Уч.-изд. л. 1,26.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» для комплектования Федерального информационного фонда стандартов, 117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru