

Проблемы нормативного обеспечения функциональной надежности цифрового производства

Matters of assuring functional dependability compliance of digital manufacturing

Юркевич Е.В.^{1*}, Крюкова Л.Н.¹
Yurkevich E.V.^{1*}, Kryukova L.N.¹

¹Институт проблем управления имени В.А. Трапезникова Российской академии наук, Российская Федерация, Москва

¹V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, Moscow

*79163188677@yandex.ru



Юркевич Е.В.



Крюкова Л.Н.

Резюме. Цель. Предложить методологический подход к обеспечению функциональной надежности производства на основе использования SMART-документов в условиях импортонезависимости технологических процессов цифрового формата. **Методы.** Развитие прикладных возможностей использования теории надежности и методов построения информационных систем определило построение методологических положений алгоритмизации применения SMART-стандартов как средств минимизации функциональных сбоев и отказов в производственных процессах. В качестве инструментов машиноинтерпретируемого представления стандартов рассмотрены цифровые модели технологических линий. Предлагаемая форма нормативных документов ориентирована на переход от машиночитаемых данных к машинопонимаемому контенту. **Результаты.** Использование предлагаемых методов систематизации контента в стандартизации производственных процессов показывает, что одним из ключевых методологических положений в обеспечении однозначности интерпретации нормативных требований является каталогизация технологических данных на основе стандартизации характеристик процессов обмена информацией в цифровой форме. В специализированных проектах часто используется не полный нормативный документ, а его отдельные положения. В этом случае для машинопонимания разрабатываемого контента предлагается использовать специальные идентификаторы, например, «абзац», «графический объект», «ячейка таблицы». Введение таких средств идентификации позволит формировать класс SMART-стандартов, собирающих в единый документ положения по обеспечению штатных результатов при разнородных средствах реализации технологического процесса. Публикации, созданные с помощью интеллектуальной обработки содержания SMART-документов, рассматриваются как контейнеры структурированных и неструктурированных данных, учитывающие условия реализации конкретного проекта. Существующая динамика спроса на современную продукцию часто определяет допустимость ее промышленного выпуска на различных предприятиях с параллельным применением уникальных технологий. Условия такой организации накладывает свои ограничения на сопоставимость разнородных требований к производственным процессам, поэтому представление результатов организационных, конструктивных и технологических решений предлагается унифицировать, используя термин «актив производственной системы». Введение в цифровом формате относительных оценок результатов является эффективным механизмом обеспечения согласованности управления. В этой связи повышается важность единства нормативного обеспечения как базы таких оценок. В качестве одного из решений проблемы минимизации сбоев и отказов в технологических линиях предложено создание ситуационного центра с системой поддержки принятия решений на основе данных комплекса нормативных документов с унифицированными требованиями к активам производственной системы. Опыт формирования нормативного обеспечения индустрии 4.0 дан в обзоре серий стандартов ISA на цифровые производства. Показано, что благодаря введению SMART-стандартов повышается устойчивость взаимодействия между информационными системами, повышается функциональная надежность работы технологических линий. Введение в средства машинопонимания контента положений, регламентирующих использование алгоритмов разработки, редактирования и экспертизы проектов нормативных документов, является важным фактором обеспечения функциональной надежности выпуска продукции. **Заключение.** Изложенный подход ориентирован на методологию разработки стандартов, учитывающих требования из различных предметных областей. В условиях формирования импортонезависимости производства рассмотрены возможности минимизации сбоев и отказов в технологических процессах цифрового формата вследствие использования нормативной базы, неэквивалентной положениям международных документов, и учитывающей специфику отечественных производственных систем.

Abstract. Aim. To propose a methodological approach to ensuring the functional dependability of industrial facilities using SMART documents in the context of import-independent digital processes. **Methods.** The evolving applicability of the dependability theory and information systems design has defined the methodological provisions for algorithmising the application of SMART standards for minimising functional faults and failures of industrial processes. Digital models of production lines were examined as tools for machine-recognisable representation of standards. The proposed form of regulatory documents is intended to enable the transition from machine-readable data to machine-understandable content. **Findings.** The application of the proposed methods of content systematisation in the context of manufacturing process standardisation shows that the classification of process data based on standardised characteristics of digital information exchange processes is one of the key methodological provisions ensuring unambiguous interpretation of regulatory requirements. Specialised projects often use individual provisions rather than complete regulatory documents. In this case, in order to ensure machine-understandability of the developed content, it is proposed using special identifiers, e.g., «paragraph», «graphic object», «table cell». The deployment of such identification tools will allow creating a class of SMART standards that collect into a single document the provisions regarding the delivery of intended results in situations when the operating equipment is diverse. Publications created using intelligent processing of SMART documents are considered as containers of structured and unstructured data that take into account the conditions of particular projects. The existing dynamics of the demand for advanced industrial products often determines the admissibility of its industrial production by various companies with the parallel use of unique technologies. The conditions of such an organisation impose their limitations on the comparability of various process requirements, therefore, it is proposed to harmonise the presentation of the results of managerial, design, and process engineering solutions using the term «manufacturing system asset». The introduction of relative result estimates as part of the digital format is an efficient mechanism for ensuring management consistency. In this context, the importance of a uniform regulatory framework as the foundation for such assessments is growing. As one of the ways of minimising faults and failures of industrial equipment, it is proposed to create a situation centre with a decision support system based on the regulatory data with harmonised manufacturing system asset requirements. An experience of Industry 4.0 regulation is described in the review of the ISA digital manufacturing series of standards. It was shown that the deployment of SMART standards improves the stability of interaction between information management systems and the functional dependability of production lines. The introduction of provisions regulating the use of algorithms for the development, editing, and examination of draft regulatory documents into the content machine-understandability facilities is an important factor in ensuring the functional dependability of products. **Conclusions.** The presented approach is focused on the methodology for developing standards that take into account requirements from various subject areas. In the context of ongoing import substitution in manufacturing, the paper examines the feasibility of minimizing digital process faults and failures caused by the use of regulatory frameworks that are not equivalent to the provisions of international documents and take into account the specificity of Russian industrial systems.

Ключевые слова: стандарты, цифровые производства, импортонезависимость, актив производственной системы, унификация нормативного обеспечения, функциональная надежность, устойчивость технологических процессов, ситуационный центр, индустрия 4.0, стандарты ISA.

Keywords: standards, digital manufacturing, import independence, manufacturing system asset, harmonisation of regulations, functional dependability, process sustainability, situation centre, industry 4.0, ISA standards.

Для цитирования: Юркевич Е.В., Крюкова Л.Н. Проблемы нормативного обеспечения функциональной надежности цифрового производства // Надежность. 2024. №3. С. 52-60. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2024-24-3-52-60>

For citation: Yurkevich E.V., Kryukova L.N. Matters of assuring functional dependability compliance of digital manufacturing. Dependability 2024;3:52-60. <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2024-24-3-52-60>

Поступила: 26.03.2024 / **После доработки:** 22.04.2024 / **К печати:** 09.09.2024

Received on: 26.03.2024 / **Revised on:** 22.04.2024 / **For printing:** 09.09.2024

Введение

Среди важных факторов, влияющих на тенденции развития экономики России, сегодня выделяется тренд перевода промышленных процессов в цифровой формат. Комплексность автоматизации производства выявляет новые требования к средствам промышленного интернета (ПИ), киберфизическим системам (КФС), а также к технологиям искусственного интеллекта (ИИ), влияющим на работу эргатических систем [1]. В условиях формирования импортонезависимости технологических процессов повышается актуальность построения системы нормативов, влияющих на вероятность получения штатного результата работы цифрового производства. Такую вероятность предлагается считать характеристикой функциональной надежности средств и систем в технологических линиях.

При управлении производственными процессами (при сборе, накоплении (хранении), поиске, обработке или передаче информации) возможны сбои и отказы. Например, ГОСТ 27.00-2015 определяет «сбой – самоустраняющийся отказ или однократный отказ, устраняемый незначительным вмешательством оператора». Другой трактовкой является «сбой – кратковременное нарушение последовательности или качества выполнения технологических операций», или «сбой – однократное нарушение логических условий работы цифрового элемента» [2]. В данной работе сбоем предлагается считать нарушение штатного функционирования программы, устройства или информационной системы в целом, которое устраняется либо повторным выполнением действия, при совершении которого возникла данная ситуация, либо перезагрузкой функционального блока. Если эти действия не помогают, такое нарушение предлагается классифицировать как отказ.

Например, к сбоям можно отнести проблемы, связанные со стабильностью работы программного обеспечения (*software*). Такие сбои «связаны» с характеристиками аппаратного обеспечения (*hardware*) информационной системы. Опасны нарушения в структуре расположения файлов и каталогов, когда ссылки на информацию, расположенные в таблице размещения файлов, указывают не на то место, где на самом деле располагается файл. Не редки сбои в программах, несовместимых с операционной системой или с аппаратным обеспечением. Например, когда несколько устройств одновременно пытаются получить доступ к одному и тому же системному ресурсу, возникает аппаратный конфликт.

В целом, одной из важных причиной появления сбоев и отказов является несоблюдение разработчиком норм, определенных в технических условиях на изделие, или использование методов увеличения его производительности, не определенных в нормативных документах. Часто сбои и отказы вызываются несоблюдением условий эксплуатации, также регламентированных в нормативных документах.

Развитие информационных возможностей принципиально новых производств определило постановку

проблемы формирования норм, позволяющих регламентировать новые сочетания конструкторских, технологических и организационных решений. С целью обеспечения функциональной надежности новых технологий актуальна задача разработки нормативных документов, определяющих условия минимизации сбоев в установке, использовании и отладке унифицированных производственных линий цифрового формата.

Одним из решений такой задачи является разработка SMART-стандартов [3], которыми системы, использующие технологии ИИ, смогут руководствоваться без участия человека. Важным условием успешности такого использования может стать переход от «машиночитаемых» документов к «машинопонимаемым».

Традиционно для построения автоматических производств требуется унификация рутинных процессов, регламентируемая соответствующими нормами. Для технологий 4.0 это должны быть положения умных SMART-документов, созданных на основании интеллектуальной обработки содержания требований к объектам информационной системы как контейнерам неструктурированных и структурированных данных, учитывающим условия реализации конкретного проекта.

Разнородность таких условий накладывает свои ограничения на сопоставимость требований к производственным процессам. В этом случае результатом интеллектуальной обработки должно стать введение алгоритмов, предусматривающих адаптацию норм, определенных в таком контейнере данных, к изменяющимся условиям их использования.

В мировом сообществе широко разрабатываются проекты перевода производства на цифровые технологии, например, в Германии это «*Industrie 4.0*», во Франции – «*Industrie du Futur*», в Китае – «*Intelligent Manufacturing*» и так далее. Техническое бюро ИСО по SMART-стандартам определило мероприятия на период до 2025 года. Среди этих мероприятий изменения в требованиях к процессам разработки стандартов, изменения в системе управления стандартизацией, вопросы кибербезопасности, управления авторскими правами, обучения специалистов и др.

Уже существуют международные пилотные проекты, использующие SMART-решения, в том числе стандарты ИСО, которые разрабатываются как цифровые с нуля. Например, реестр метаданных МЭК *Common Data Dictionary (IEC CDD)* и репозиторий свойств продукции *ECLASS*. Официальным дистрибьютором переводчиком *ECLASS* в России является компания «Кодекс».

1. Методологические тенденции в регламентации средств обеспечения функциональной надежности цифрового производства

Темпы и направления технологического развития хозяйственного комплекса России часто зависят не только от решения проблем импортозамещения средств,

определяющих возможность выпуска отечественной продукции, но и от обеспечения ее импортнезависимости, то есть от выбора своего пути развития страны. В этой связи исключительную важность приобретает регламентация согласованности характеристик разнородных технологических процессов на предприятиях, выпускающих однотипную продукцию.

Анализ параметров программно-технических средств при многоаспектности организации цифрового производства определил его рассмотрение в виде многоуровневого (многослойного) развивающегося объекта. Такую модель предлагается рассматривать как представление информационной базы, с помощью которой возможно построение регулярного механизма формирования требований к изменяющимся характеристикам технологических процессов.

Системность рассмотрения производственного цикла предполагает необходимость использования нормативных документов, регламентирующих значения параметров его функциональных модулей и унификацию требований к технологиям их использования. В этой связи одной из важных задач снижения вероятности сбоев цифровых производств, является разработка норм, определяющих сопоставимость характеристик технологических модулей на функционально близких линиях вне зависимости от того, выпускаются они на одном или на разных предприятиях. К средствам, входящим в такие линии, предлагается относить материальные объекты (средства связи) и информационные средства (базы данных, базы знаний, программное обеспечение).

Современные задачи введения интеллектуальности в управление производственными процессами предполагают создание средств, адаптирующихся к нелинейным изменениям характеристик внешней среды. В этом случае требуется регламентация представления не только результатов расчета моделей, созданных технологами, но и норм многоуровневого описания информационных процессов.

С целью минимизации сбоев в таких технологиях ставится задача адаптации алгоритмов формирования их нормативного обеспечения к структуре регламентируемых процессов. Для этого предлагается использовать методологию динамического программирования [4]. Например, для управления технологической линией нормы, определяющие значения характеристик некоторого функционального блока являются результатом расчета по (отработанному!) алгоритму. Если рассмотреть такую линию в виде системы блоков, возможна обоснованность операции кэширования имеющегося алгоритма, позволяющая его вводить в регламентации характеристик для каждого функционального блока с ограничениями на сопоставимость разнородных требований к производственным процессам. Таким образом, отпадает необходимость в формировании изолированных алгоритмов нормирования значений характеристик для каждого из блоков этой системы, а унификация представления результатов организационных, конструктивных и технологических решений определит повы-

шение эффективность использования нормативного обеспечения в масштабе всей линии.

Для реализации технологий кэширования на основе обобщенного представления различных модулей предлагается использовать характеристики активов, определенных в стандартах на цифровые производства, например, в ГОСТ Р 59799-2021 [5]. В качестве унифицированного термина, обозначающего эти характеристики, предлагается «актив производственной системы» (актив ПС).

Данный термин обобщает характеристики объектов, для которых параметры технологических решений и организационных механизмов влияют на разработку, производство и эксплуатацию разнородных изделий или систем. Сходное понимание активов ПС дает стандарт МЭК 62832-1:2020 [6], определяющий их как «устройства (или их части), электронные модули, системы, программы, машины, установки, сети, услуги, концепции и идеи, планы, архивы».

Например, IEC/PAS 63088 (2017) «Интеллектуальное производство. Модель эталонной архитектуры *industry 4.0*» (*Smart manufacturing – Reference architecture model industry 4.0 RAMI 4.0*) рассматривает этот термин в представлении параметров программно-технического обеспечения КФС. В цифровом представлении ГОСТ Р 70265.1-2022 [7] однозначно определяет актив ПС как идентификатор роли (для информации об оборудовании, обусловленном ролью, – ролевом оборудовании), и как серийный номер (для информации о физических активах).

В стандартизации минимальной единицей информации, к которой применяются какие-либо действия, традиционно принято рассматривать нормативный документ. В то время как его пользователи часто руководствуются только отдельными требованиями и, соответственно, отслеживают жизненный цикл именно этих требований, «связывая» используемые и дополнительные данные не с документом, а с его отдельными нормами, определенными в конкретном месте документа. Такая практика работы с нормативными документами предполагает рациональность разметки полнотекстового формата *SMART*-стандарта [1] идентификаторами абзаца (*PID*), дающими возможность введения его машинопониманием.

Будем полагать, что при построении нормативного документа формируется свой *PID*, учитывающий один из типов каждой сущности: «абзац», «графический объект» и «ячейка таблицы». В этом случае минимальный объем требования составит 1 абзац, 1 рисунок или 1 ячейка таблицы. Верхняя граница объема при этом может не указываться, если технологически допустимо, что требование относится к неопределенному количеству абзацев, рисунков и табличных ячеек из любого места документа.

Практически текст требований часто располагается в основной части документа, а относящиеся к нему числовые данные и иллюстрации – в приложениях. Введение норм установки *PID* позволит с помощью *SMART*-документа собирать требования к разнородным средствам реализации технологических процессов в единую логическую сущность.

В связи с тем, что современные производства в основном являются эргатическими системами, активы ПС возможно рассматривать как элементы социо-киберфизической системы (СКФС) [8]. Такое понимание включает в себя сочетание характеристик технологий принятия экспертных решений с учетом человеческого фактора и характеристик производства, согласно данным баз знаний, сформированных средствами искусственного интеллекта.

Специфика появления сбоев в применении активов СКФС в основном обусловлена такими видами технологий, как использование и обслуживание. Использование определяется факторами, воздействие которых ограничено необходимыми и достаточными условиями ведения технологических процессов. Примером возможности учета физических и технологических особенностей актива является представление функционального модуля в виде цифрового двойника [9]. Необходимым условием надежности использования активов СКФС является соответствие значений параметров, входящих в такую модель, положениям нормативных документов, определяющих конструктивные характеристики данного актива. Аналогично, необходимым условием надежности обслуживания активов СКФС является обеспечение соответствия значений параметров положениям нормативных документов, определяющих сохранение их функциональности. Часто цифровой формат обслуживания можно рассматривать как совершенствование активов СКФС, в то время как традиционно обслуживание предполагает просто сохранение статуса актива при использовании.

Положения ГОСТ Р 59799-2021 «Умное производство. Модель эталонной архитектуры индустрии 4.0», определяют нормы связей между компонентами цифрового производства на основе информации в самом активе либо в ИТ-системе. Важным достоинством такой регламентации должна стать возможность расширения функциональности активов за рамки простой идентификации в информационной системе. Если функции администрирования заключены в активе ПС, то сформировать наиболее рациональную схему выполнения технологических задач позволит его цифровой двойник. В этом случае актив ПС можно рассматривать как диспетчер компонентов СКФС.

Согласно ГОСТ Р 59799-2021 нормативное обеспечение актива ПС предлагается формировать на основе концептуальных уровней, показанных на рис. 1.

Анализ функциональных задач, показанных на рис. 1, позволяет выделить обеспечение коммуникационных возможностей и технической функциональности активов ПС как наиболее важные тренды развития цифровых производств. В то же время, активы, описывающие сервисы и технологии с программным обеспечением соответствующего компонента, часто используют различные протоколы связи [10, 11]. С целью минимизации функциональных сбоев и отказов эти протоколы и приложения должны соответствовать нормам, определенным в стандартах, обеспечивающих регулярность акту-

ализации информации и поддержку принятия решений по управлению производственными процессами.

Существующая динамика спроса на современную продукцию часто определяет допустимость ее промышленного выпуска на различных предприятиях с параллельным применением уникальных технологий. Условия такой организации накладывают свои ограничения на сопоставимость разнородных требований к производственным процессам. Для обеспечения согласованности представления результатов организационных, конструктивных и технологических решений предлагается вводить в цифровой формат относительные оценки этих результатов. В этой связи повышается важность единства нормативного обеспечения как базы таких оценок.

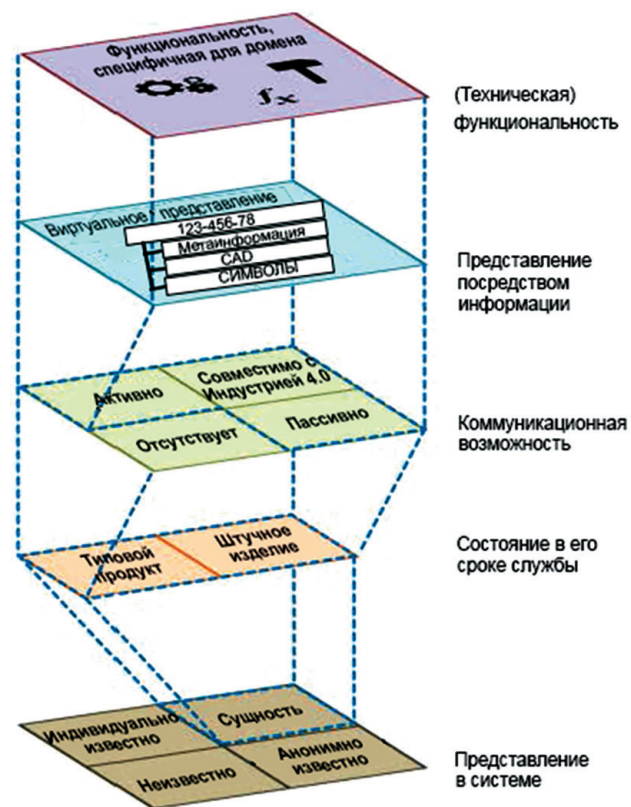


Рис. 1. Концептуальные уровни актива ПС

В качестве одного из решений проблемы минимизации сбоев и отказов в технологических линиях предложено создание ситуационного центра с системой поддержки принятия решений на данных комплексов нормативных документов с унифицированными требованиями к активам ПС. Визуализация данных SMART-стандартов на приборной панели такого центра поможет их воспринимать, сопоставлять и анализировать, обеспечивая устойчивость взаимодействия между информационными системами и функциональную надежность работы технологических линий.

С помощью ситуационного центра возможен контроль доступа к документам на уровне регламентируемого набора данных, а также, используя методологию динамического программирования [4], автоматически преоб-

разовывать эти данные в единый формат, устанавливая связи между таблицами. Унификация представления базы данных, основанная на положениях нормативных документов с требованиями к представлению активов ПС, упростит принятие соответствующих решений.

Примерами регламентируемых требований, контролируемых ситуационным центром, являются: диапазон частот для продуктивной коммуникации с помощью информационных каналов в реальном масштабе времени; предельные значения отказоустойчивости активов ПС, определяющих надежность (безопасность) производственных процессов при воздействиях факторов внешней среды; характеристики сетей и интерфейсов на основе единых правил; точность тактовой синхронизации в построении алгоритмов транзакций; регламентация ограничений в установлении специальных связей и другие.

В связи с разнородностью поступающей информации в структуре ситуационного центра предлагается использовать маршрутизатор, определяющий рациональные каналы передачи информации. С целью минимизации ошибок администратор может просматривать параметры нормативных ссылок, направляя деятельность разработчиков. Например, таким приложением может явиться техническая ИТ-служба с поддержкой *SPARQL*.

Диспетчер компонентов должен на основе технологий искусственного интеллекта формировать расширенный сервис, который призван выполнять постоянную актуализацию содержащейся информации, а также предоставление запросов, основанных на сервис-ориентированной архитектуре (*SOA*). Так, для обеспечения внешнего доступа к представлению информации и технической функциональности актива требуется регламентация связей между ИТ-техникой базовой платформы и сервисом ее целевой платформы.

Важным фактором согласованности цифровых производств функционально близких модулей на различных предприятиях является наличие в нормативных документах положений, обеспечивающих возможность считывать состояние активов ПС каждым из производителей этих модулей [12]. Следовательно, ставится задача унификации моделей технологических процессов, включающих в себя данные о динамике состояний активов ПС и их функциональности. На основании такой информации должен формироваться статистически обоснованный анализ данных. Например, с помощью последовательных запросов о состоянии конкретного актива цифрового производства в определенный момент времени.

В регламентации цифровых производственных процессов весьма существенным является введение в *SMART*-стандарты норм, определяющих поддержку просмотра документов, толерантный поиск информации по синонимам и поиск сходства отношений. Обладая возможностями идентификации активов, диспетчер компонентов ситуационного центра сможет подключать *SOA* или интегрировать оболочку в хранилище. Кроме того, основанный на *SOA* диспетчер компонентов сможет предоставлять *API* мощных сервисов для более широких запросов информации об активе [5].

2. Примеры стандартов контроля работы серийных предприятий как активов ПС базы данных ситуационного центра

1. *Регламентация контроля процесса производства* является областью разработок Комитета по стандартам контроля серий *ISA-88* как ведущей организации в отношении контроля работы серийных предприятий. Комитет отвечает за разработку и ведение стандарта серии *ISA-88*, на международном уровне стандарт *ISA-88* известен как *IEC 61512*, который поддерживается Подкомитетом *65A IEC*.

Одной из ведущих в создании серии стандартов *ISA-88 Batch Control System* является компания *Yokogawa*. Продуктами ее разработки являются: Модели и терминология *ISA-88* (Часть 1); Структуры данных и руководство по языковому контролю *ISA-88* (Часть 2); Общие и местные модели и представление *ISA-88* (Часть 3); Досье на производство (Часть 4). Языком пакетной разметки (*BatchML*) является *XML*, определяющий реализацию семейства стандартов *ISA-88*. Он состоит из набора *XML*-схем, написанных с использованием языка *XML*-схем (*XSD*) Консорциума *Internet*, которые реализуют модели и терминологию в стандартах *ISA-88*.

2. *Нормы интеграции системы управления предприятием* содержатся в разработках Комитета по стандартам *ISA-95*. Они определяют основу для обмена производственными данными между предприятиями и производственными системами, а также между системами управления производственными операциями (*MOM*). Такие стандарты используются компаниями-производителями при построении непрерывных, периодических и дискретных производств, а также поставщиками систем на уровне *MOM* и предприятий.

Стандарты *ISA-95* базируются в США, признаны на международном уровне в качестве стандарта *IEC/ISO 62264*. Они состоят из пяти частей: Части 1 и 2 определяют рамки для обмена данными между системами управления производственными операциями предприятия и управления производственными операциями. Часть 3 определяет деятельность по управлению производственными операциями и используется производственными компаниями для описания их требований и функций *MOM*. Часть 4 определяет модели обмена данными между функциями в пределах уровня *MOM*. Часть 5 в качестве программных транзакций определяет алгоритм автоматизированного обмена данными из частей 1 и 2.

Международная версия *ISA-95 – IEC/ISO 62264* разработана Совместной рабочей группой 5 *IEC (JWG 5)*. Участие МЭК в работе Совместной рабочей группы 5 осуществлялось под эгидой Подкомитета 65 (ПК 65) Технического комитета 65 (ТК 65). Участие ИСО обеспечивается Совместной рабочей группой 5 в рамках Подкомитета 5 Технического комитета 184. В соответствии с публикациями *ISA-95* США он представляется на рассмотрение *JWG 5* в качестве международного стандарта. Участие в *JWG 5* координируется через национальную стандартную организацию каждой страны-члена.

3. *Нормы по обеспечению кибербезопасности промышленных систем автоматизации и управления* содержатся в разработках Комитета по стандартам *ISA-99 (IEC 62443)*. Они регламентируются многокомпонентной группой стандартов и связанных с ними технических отчетов. Стандарты сгруппированы по четырем широким областям: понятия и терминология; создание и поддержание программы безопасности специально для владельца актива; безопасная интеграция систем управления, включая модель зоны и канала; разработка продукции и технические требования к системам управления.

4. *Нормы работы с человеко-машинными интерфейсами (ЧМИ)* содержатся в разработках Комитета по стандартам *ISA-101*. Они регламентируются стандартами и техническими докладами, которые в настоящее время переводятся на формат *IEC*. Нормы касаются проектирования, внедрения, использования и/или управления человеко-машинными интерфейсами в производственных приложениях.

Области, охватываемые работой *ISA-101*, включают в себя такие аспекты проектирования и работы ЧМИ как: иерархии меню, соглашения о навигации по экранам, графические и цветовые соглашения, динамические элементы, соглашения об аварийных сигналах, методы безопасности и атрибуты электронной подписи, интерфейсы с фоновым программированием и историческими базами данных, всплывающие соглашения, справочные экраны и методы, используемые для работы с аварийными сигналами, интерфейсы программных объектов и интерфейсы конфигурации с базами данных, серверами и сетями.

5. *Нормы работы с системными аспектами этапов жизненного цикла (проектирование, реализация и эксплуатация)* содержатся в разработках Комитета по стандартам *ISA-101*. Они ведутся под руководством отраслевых экспертов от соответствующих членов комитета. Разрабатываются нормы общих положений, определяются области применения, даются нормативные ссылки, определяются термины и сокращения, формируются алгоритмы управления системой ЧМИ, а также регламентируются нормы использования человеческого фактора, даются стили дисплея и, нормы взаимодействия с пользователем. В технических отчетах приводится философия ЧМИ для перспективных разработок, в том числе определяются стили ЧМИ, механизмы их проектирования, оценивается удобство и производительность, формируется спецификация покупки ЧМИ.

6. *Регламентация работы с интерфейсом полевого устройства* содержится в разработках Комитета по стандартам *ISA-103 (IEC 62453)*. Они определяют требования к формированию интерфейсов как для вертикального, так и для горизонтального потока данных, а также к управлению функциями и доступа к данным, в рамках архитектуры клиент-сервера. Такой подход позволяет прикладному программному обеспечению и инструментам конфигурации использовать унифицированные алгоритмы взаимодействия с полевыми устройствами, учитывающими специфику каждого производителя. *ISA-103* поддерживает

программное обеспечение для полевых шин, устройств или подсистем, которое может быть интегрировано как часть универсального инструмента управления жизненным циклом системы автоматизации предприятия.

Например, в рамках деятельности *ISA-103 Yokogawa* предлагает такие продукты как *Plant Resource Manager (PRM)* и *FieldMate*, а также полевые приборы на основе полевой шины *HART®*, *FOUNDATION™*, *PROFIBUS®* и *ISA100.11a* имеют *DTM (Device Type Manager)*. В перспективе Комитет по *ISA-103* предполагает пересмотр сферы охвата *ISA-103* для поддержки *FDI* и обновление *ISA 62453* в рамках цикла технического обслуживания.

7. *Язык описания электронных устройств (EDDL)* определен стандартом *ISA-104*, т.е. документом МЭК (*IEC 61804*), регламентирующим встроенную технологию для полевых цифровых протоколов, позволяющую конфигурировать/настраивать, диагностировать и контролировать устройства различных производителей.

EDDL – текстовый язык для описания характеристик цифровой связи сложных полевых КИП и параметров оборудования: состояние устройства, диагностические данные и детали конфигурации. Комитет по *ISA-104* поддерживает веб-сайт для *EDDL*.

В настоящее время комитет работает над новой структурой стандартов серии *IEC 61804*, оценкой ее влияния на интеграцию полевых устройств и изменением области применения и цели *ISA 104*, включив в нее *FDI*. Применение стандартов *ISA-104* определило эффективность разработки полевых измерительных приборов (*Yokogawa*), где использованы такие протоколы как *HART®*, *FOUNDATION™*, *fieldbus*, *PROFIBUS®* и *ISA100.11a*.

8. *Стандартизация в системах автоматизации непрерывных технологических операций* определяется продуктами Комитета по стандартам *ISA-106*, являющимися нормативными документами, которые регламентируют работу активов ПС автоматизации процедур в непрерывных технологических отраслях [8].

9. *Стандарты, связанные с практикой и рабочими процессами для проектирования, эксплуатации и использования диагностической и другой информации, предоставляемой интеллектуальными полевыми устройствами в технологических отраслях*, являются результатами разработок Комитета по *ISA-108*.

Стандарты, регламентирующие управление системами сигнализации в технологических отраслях, разработаны Комитетом по *ISA-18.2*. В них приведены требования и рекомендации для деятельности жизненного цикла системы управления аварийными сигналами. Определенные в этих документах этапы жизненного цикла включают в себя философию, идентификацию, рационализацию, рабочее проектирование, внедрение, эксплуатацию, техническое обслуживание, мониторинг и оценку, управление изменениями и аудит.

В настоящее время опубликованы технические доклады: Основные принципы сигнализации; Идентификация и рационализация аварийных сигналов; Базовая конструкция сигнализации; Усовершенствованные и расширен-

ные методы сигнализации; Мониторинг, оценка и аудит аварийных сигналов; Проектирование сигнализации для пакетных и дискретных процессов. Эти нормативные документы поддерживаются продуктами *Yokogawa* как консолидированное программное обеспечение для управления аварийными сигналами (*CAMS*) в составе российской платформы *Centum VP*, а также отчеты и анализ аварийных сигналов (*ARA*), содержащий главную базу данных аварийных сигналов (*AMD*) и расширенный администратор аварийных сигналов (*AAA Suite*).

10. *Стандартизированный подход к управлению пакетными процессами* содержится в разработках Комитета *ISA-88 Batch*. Им определены нормы соответствующих стандартов *ISA-88* (МЭК 61512) и использование стандартного подхода в проектах по унификации архитектуры для разработки схем управления пакетным производственным процессом. Такие работы позволяют снижать затраты на мониторинг появления сбоев при эксплуатации пакетных процессов и сокращая время, необходимое для внедрения проблем нормативного обеспечения цифровых производств новых продуктов по внедрению пакетного контроля.

Заключение

Анализ проблем формирования импортнезависимости цифровых технологических процессов позволяет определять существенные положения методологического подхода к обеспечению функциональной надежности производства. Результаты применения *SMART*-документов выявили важность их использования как фактора снижения вероятности сбоев в работе технологических линий. При этом введение *SMART*-стандартов в основу построения производств повышает их эффективность в соответствии с обеспечением новых требований неэквивалентных положениям международных стандартов.

Комплексность автоматизации производственных процессов показала актуальность регламентации интерфейсов, определяющих взаимосвязи между участками технологических линий. Так, одним из примеров необходимости предлагаемого подхода к стандартизации в цифровых производствах является важность машинной интерпретации норм, определяющих работу технологических линий, где обмен данными об их характеристиках между участками и системами данных, а также между системами управления (электрическими, измерительными и техническими средствами контроля) сможет осуществляться только при строгом определении подлежащей обмену информации и порядка ее использования.

Важным фактором обеспечения функциональной надежности производства является введение в средства машинопонимаемости контента положений, регламентирующих использование алгоритмов разработки, редактирования и экспертизы проектов нормативных документов. Для обеспечения сопоставимости требований к производственным процессам предлагаемое использование термина «актив ПС», позволяет уни-

фицировать форму представления организационных, конструктивных и технологических решений.

Особенностью применения цифровых технологий является возможность повышения эффективности производства на основе организации параллельного выпуска однородной продукции на различных предприятиях. В этой связи анализ использования *SMART*-стандартов обусловил важность ориентации на единство норм, регламентирующих применяемые технологии выпуска средств близкого назначения. Такой подход определил методологические аспекты введения сопоставимости требований из различных предметных областей. В результате алгоритмизацию применения *SMART*-стандартов предлагается рассматривать как существенную тенденцию в построении нормативных документов с регламентацией свойств производственных процессов на основе их систематизации и каталогизации.

В качестве одного из решений проблемы минимизации сбоев и отказов в производственных линиях на различных предприятиях предлагается создание ситуационного центра, база данных которого содержит комплекс нормативных документов с унифицированными требованиями к активам ПС.

Опыт формирования нормативного обеспечения индустрии 4.0 показывает, что устойчивость взаимодействия между элементами информационных систем является важным фактором повышения их функциональной надежности. Обзор применения стандартов *ISA* на цифровые производства подтверждает действенность введения *SMART*-стандартов как механизма получения штатного результата работы технологических линий.

Библиографический список

1. Гольдштейн Б.С., Ехриель И.М., Рерле Р.Д. Интеллектуальные сети. М.: Радио и связь, 2000. 489 с.
2. Шубинский И.Б. Функциональная надежность информационных систем. Методы анализа. М.: Журнал «Надежность», 2012. 296 с.
3. МЭК 62890:2020 Измерение, управление и автоматизация промышленного процесса. Управление жизненным циклом для систем и компонентов (*Industrial-process measurement, control and automation – Life-cycle management for systems and components*).
4. Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. Алгоритмы: построение и анализ. Динамическое программирование (*Introduction to Algorithms*) / Под ред. И.В. Красикова: 2-е изд. М.: Вильямс, 2005. 1296 с.
5. ГОСТ Р 59799-2021 Умное производство. Модель эталонной архитектуры индустрии 4.0 (RAMI 4.0). М.: Российский институт стандартизации, 2021. V, 29 с.
6. МЭК 62832-1:2020 Измерение, управление и автоматизация промышленного процесса. Структура цифровых фабрик (умного производства). Часть 1. Основные принципы (*Industrial-process measurement, control and automation – Digital factory framework – Part 1: General principles*).

7. ГОСТ Р 70265.1-2022 Измерение, управление и автоматизация промышленного процесса. Структура цифровой фабрики. Часть 1. Основные положения. М.: Российский институт стандартизации, 2022. V, 30 с.

8. Yurkevich E.V., Stepanovskaya I.A., Kryukova L.N. Mechanisms of information support for the digital transformation of space complexes based on the concept of socio-cyber-physical self-organization / 5th International Scientific Conference on Intelligent Information Technologies for Industry (IITI 2021, Sochi) / Lecture Notes in Networks and Systems. Cham: Springer. 2022. Vol. 330. Pp. 629-637. DOI: 10.1007/978-3-030-87178-9_62

9. ГОСТ Р 57700.37-2021 Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. М.: Российский институт стандартизации, 2021. IV, 10 с.

10. Р 50.1.028-2001 Рекомендации по стандартизации. «Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования».

11. МЭК 61360-1:2017 Стандартные типы элементов данных с ассоциированной схемой классификации. Часть 1. Определения. Принципы и методы (*Standard data element types with associated classification scheme – Part 1: Definitions – Principles and methods*).

12. Петухов О.А., Коропеевский Д.А. Стандартизация как элемент ускорения цифровизации и развития российской радиоэлектронной промышленности // Стандарты и качество. 2021. № 4. С. 44-47.

References

1. Goldstein B.S., Ekriel I.M., Rerle R.D. [Intelligent networks]. Moscow: Radio i svyaz; 2000. (in Russ.)

2. Shubinsky I.B. [Functional dependability of information systems. Analysis methods] Moscow: Dependability Journal; 2012. (in Russ.)

3. IEC 62890:2020. Industrial-process measurement, control and automation – Life-cycle-management for systems and components.

4. Cormen T., Leiserson C., Rivest R. Krasikov I.V., editor. Introduction to algorithms. 2-nd edition. Moscow: Viliams; 2005.

5. GOST R 59799-2021. Smart manufacturing. Reference architecture model industry 4.0 (RAMI4.0). Moscow: Rossiysky institut standartizatsii; 2021. (in Russ.)

6. IEC 62832-1:2020. Industrial-process measurement, control and automation – Digital factory framework – Part 1: General principles.

7. GOST R 70265.1-2022. Industrial-process measurement, control and automation. Digital factory framework. Part 1. Basic provisions. Moscow: Rossiysky institut standartizatsii; 2022. (in Russ.)

8. Yurkevich E.V., Stepanovskaya I.A., Kryukova L.N. Mechanisms of information support for the digital transformation of space complexes based on the concept of socio-cyber-physical self-organization. In: 5th International Sci-

entific Conference on Intelligent Information Technologies for Industry (IITI 2021, Sochi). Lecture Notes in Networks and Systems. Cham: Springer; 2022. Vol. 330. Pp. 629-637. DOI: 10.1007/978-3-030-87178-9_62.

9. GOST R 57700.37-2021. Computer models and simulation. Digital twins of products. General provisions. Moscow: Rossiysky institut standartizatsii; 2021. (in Russ.)

10. R 50.1.028-2001. Recommendations for standardisation. Continuous acquisition and life-cycle support. Methodology of functional modelling.

11. IEC 61360-1:2017. Standard data element types with associated classification scheme – Part 1: Definitions – Principles and methods.

12. Petukhov O., Korolevskiy D. Standardization as a tool for accelerating digitalization and development of the Russian radio-electronic industry. *Standards and Quality* 2021;4:44-47. (in Russ.)

Сведения об авторах

Юркевич Евгений Владимирович – д.т.н., профессор, главный научный сотрудник ИПУ РАН специалист в области функциональной надежности и системного анализа. Институт проблем управления имени В.А. Трапезникова Российской академии наук, Российская Федерация, Москва, e-mail: 79163188677@yandex.ru

Крюкова Лидия Николаевна – научный сотрудник ИПУ РАН, специалист в области стандартизации средств и систем автоматизации технологических процессов. Институт проблем управления имени В.А. Трапезникова Российской академии наук, Российская Федерация, Москва

About the authors

Evgeny V. Yurkevich, Doctor of Engineering, Professor, Head Researcher, ICS RAS, expert in functional dependability and systems analysis. V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, Moscow, e-mail: 79163188677@yandex.ru.

Lidia N. Kryukova, Researcher, ICS RAS, expert in standardisation of process automation equipment and systems. V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, Moscow.

Вклад авторов

Юркевич Е.В. предложил подход к унификации нормативной базы отечественного производства при формировании импортнезависимости технологических процессов.

Крюкова Л.Н. на примерах применения международных стандартов показала особенности использования SMART-документов в обеспечении функциональной надежности технологических линий цифрового формата.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.