

УДК 004.7

ПРОБЛЕМА ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ В СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

С. В. Козлов¹, С. И. Макаренко², А. Я. Олейников³, Д. В. Растягаев⁴, Т. Е. Черницкая²

¹Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»
Российской академии наук, 119333, Москва, ул. Вавилова, 44, корп. 2

²Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им.
В.И. Ульянова (Ленина), 197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 5

³Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, 125009, Москва,
ул. Моховая 11, корп. 7

⁴Российский новый университет, 105005, Москва, ул. Радио, 22

Статья поступила в редакцию 10 ноября 2019 г.

Аннотация. Проведен анализ зарубежных и отечественных работ в области сетецентрических систем управления, принципов их функционирования и по проблеме обеспечения интероперабельности компонентов сетецентрических систем. Показано, что именно обеспечение интероперабельности является ключевым принципом, обеспечивающим синергетический эффект функционирования сетецентрических систем и повышение эффективности их функционирования по отношению к классическим системам управления. Проведенный анализ показал, что за рубежом работы по обеспечению интероперабельности в области сетецентрических систем ведутся весьма активно как в гражданской, так и в военной сфере. При этом наибольшее количество исследований и результатов в области интероперабельности сетецентрических систем получено международным консорциумом Network Centric Operations Industry Council (NCOIC). В нашей стране, несмотря на то, что важность работ по интероперабельности признана на концептуальном уровне, масштабы исследований в области интероперабельности значительно ниже и далеко не соответствуют уровню важности данной проблемы. В связи с этим, данное исследование, направленное на формулировку и поиск решения проблемы интероперабельности в области сетецентрических систем управления, обладает высокой теоретической и практической значимостью, и

фактически в отечественной практике формулируется впервые. Это исследование проводится в рамках проекта РФФИ № 19-07-00774.

Ключевые слова: интероперабельность, сетецентрическая система управления, система управления, сетецентрическая концепция.

Abstract. Analysis of papers in the field of network-centric control systems, the principles of their functioning and a problem of interoperability in network-centric systems is carried out. In the paper is shown that interoperability is the main principle of network-centric systems that increases the efficiency of their functioning in relation to classical control systems. The analysis that is presented in the article showed that the research on ensuring interoperability for the network-centric systems is carried out very actively both in civil and military spheres. At the same time, the largest number of studies and results in the field of interoperability of network centric systems were obtained by the Network Centric Operations Industry Council (NCOIC). In Russia, the scale of research in this field of interoperability is much lower and does not correspond to the real level of importance of this problem. Importance of interoperability study is recognized at the conceptual level. Therefore, this study is aimed at the formulating and finding a solution to the problem of interoperability for network-centric control systems. This study has a high theoretical and practical significance, and in domestic practice is formulated for the first time. The research is carried out within the № 19-07-00774 project of The Russian Foundation for Basic Research.

Keywords: interoperability, network-centric control system, control system, network-centric concept.

Введение

В настоящее время принципы сетецентрического управления все более широко применяются при создании перспективных информационно-управляющих систем в таких наукоемких областях, как экономика, промышленность, обороноспособность. Реализации концепции сетецентрического управления, принципам сетецентрического управления,

особенно применительно к военному делу, посвящено много зарубежных и отечественных публикаций [1-9].

Первостепенным, можно сказать, ключевым принципом сетецентрического управления служит интероперабельность, как свойство бесшовной информационной интеграции отдельных подсистем. Согласно общепринятому определению, данному организациями по стандартизации [10, 11]:

интероперабельность – способность двух или более информационных систем или компонентов к обмену информацией и к использованию информации, полученной в результате обмена.

В основе обеспечения интероперабельности лежит использование стандартов информационно-коммуникационных технологий (ИКТ-стандартов). Таким образом, проблема обеспечения интероперабельности имеет фундаментальное значение для развития теории построения сетецентрических информационно-управляющих систем, поскольку обеспечение интероперабельности в перспективных проектах позволит на практике обеспечить интеграцию существующих информационных и телекоммуникационных компонентов этих систем, а также заложить основу для информационного сопряжения вновь создаваемых систем.

Практическая значимость и важность проблемы обеспечения интероперабельности подтверждается наличием в ведущих зарубежных странах документов, таких как «European Interoperability Framework», а также обязательным включением требований к интероперабельности в технические задания на разработку автоматизированных систем управления (АСУ) в различных областях (в космонавтике, энергетике, здравоохранении, транспорте и т.д.), телекоммуникационных систем, комплексов вооружения. Актуальность проблемы интероперабельности в РФ подтверждается включением исследований по данной тематике, а также разработки соответствующих стандартов, в Программу фундаментальных исследований государственных академий наук на 2013-2020 гг. (п. 34) [12].

Данная работа продолжает цикл публикаций авторов [13-20] посвященных проблеме интероперабельности, цель данной работы – подробный анализ проблемы интероперабельности применительно к сетевым системам управления, получившим в последнее время широкое распространение в различных сферах деятельности.

1. Сетевая концепция и принципы построения сетевых систем управления в различных сферах деятельности

1.1. Основные понятия

В настоящее время, в различных областях активно ведутся исследования в области повышения эффективности систем управления. Одним из направлений такого повышения, является переход от классических систем управления, построенных по схеме «объект управления – управляющий субъект», к новой концепции построения систем управления, к так называемой, «сетевой концепции», которая представляет собой совокупность принципов построения и функционирования сетевых систем управления (ССУ).

Ниже приведём основные понятия, используемые в сетевой концепции.

Сетевая концепция (СЦК) – набор базовых положений об объединении всех элементов системы в единое информационное пространство (ЕИП) (или, по другому, сетевую среду), обеспечение полной функциональной совместимости (интероперабельности) элементов и предоставление всем элементам системы возможностей беспрепятственного взаимного обмена информацией независимо от уровней иерархии и выполняемых функций (см. например [1]).

Заметим, что принцип «открытости» системы, подразумевает обеспечение в ней интероперабельности, т.к. интероперабельность представляет одну из трёх характеристик открытой системы [20].

Человеко-машинной основой, обеспечивающей интероперабельность при взаимодействии различных элементов в составе ССУ является

сетецентрическая среда.

Сетецентрическая среда – это область, включающая человеческие и технические ресурсы, а также технологии, обеспечивающие эффективное их взаимодействие, функционирующая в интересах исполнителей, обеспечивающая пользователей необходимой им информацией в понятной им форме и с заданной достоверностью. Эта же среда обеспечивает свойства информационной безопасности (конфиденциальности, целостности, доступности) в условиях дестабилизирующих воздействий различной природы [21].

Определение, функции и структура сетецентрической среды описаны в концепции объединенной функциональной сетецентрической среды – NCE JFC (Net-Centric Environment Joint Functional Concept) [21]. Семантически понятие сетецентрической среды частично соответствует русскоязычному понятию «единое информационное пространство» (ЕИП), однако «сетецентрическая среда» является более широким понятием т.к. помимо технических аспектов обмена информацией включает в себя еще и психологические и когнитивные сферы информационного взаимодействия персонала сетецентрической системы управления и лиц, принимающих решения.

Сетецентрическая система управления (ССУ) – система управления распределённой системой, в которой ее базовые элементы, такие как: силы и средства наблюдения, пункты управления и ЛПР, управляемые силы и средства, объединены в ЕИП. При этом такая система управления характеризуется принципами открытости, самоорганизации, слабой иерархии в контуре принятия решений и способностью порождать цели внутри себя [1].

Рассматривая понятие ССУ, целесообразно конкретизировать это понятие в форме термина «сетецентрическая организация», который фактически соответствует понятию организационно-технической системы, обладающий специфическими особенностями, характерными для ССУ.

Сетецентрическая организация – множество взаимосвязанных сил (персонала) и технических средств, организованных и функционирующих для

достижения определенной цели, и характеризующаяся следующими особенностями [1]:

- наличие единой стратегической цели при отсутствии четкого планирования на тактическом уровне;
- отсутствие четкой иерархической структуры подчиненности сил (персонала) организации, а зачастую и отсутствие центрального руководства;
- децентрализация и параллельность работы персонала организации;
- многоуровневая структура организации с разветвленной и сложной системой связей и вложенных сообществ;
- координация деятельности отдельных сил и средств с использованием средств глобальных информационных сетей;
- высокая динамика развития организации за счет хорошо налаженного обмена информацией и способности к быстрой реорганизации в случае необходимости.

Приведенные выше признаки являются характерными для сетевой формы организации, получившей при информатизации общества новый импульс для развития, поскольку их эффективность напрямую зависит от скорости и качества обмена информацией, эти характеристики должны быть гораздо выше, чем в иерархических структурах.

Сетецентрическая операция – использование человеческих и технических возможностей в сетевой среде, охватывающее все элементы сетецентрической организации, обеспечивающие информацией об интегральных возможностях, осведомленности, знаниях, опыте для принятия решений с целью достижения высокого уровня гибкости и эффективности принятия решений и действий в условиях, характеризующихся инвариантностью, децентрализованностью, динамизмом и непредсказуемостью [1].

Таким, образом, анализ концепции сетецентрического управления показывает, что ее основная идея соответствует новому способу организации

управления как реальному инструменту повышения возможностей информационного обмена для разнородных сил и средств, и достижения за счет этого синергетического эффекта.

В иерархической системе управления при взаимодействии между двумя одноранговыми элементами в работу включается вся иерархическая цепочка, вплоть до ЛПР, являющегося общим для обоих элементов.

Сетевая организация допускает непосредственное взаимодействие двух одноранговых элементов. В этом случае, согласно закону Меткалфа [1], потенциальная эффективность сети линейно увеличивается с ростом числа ее элементов и экспоненциально – с ростом числа связей между ними (пропорционально квадрату их числа).

Основное преимущество сетецентрического подхода к управлению по сравнению с иерархическим, заключается в том, что при использовании сетецентрических методов управления уменьшается совокупная ошибка принятия неверного решения, что приводит к стабильности и способности системы справляться с последствиями кризисных процессов и явлений.

Современные достижения в области информационных технологий существенным образом повышают возможности всех компонентов управляемых и управляющих сил и средств по обмену информацией. Это ведет к появлению новых принципов информационного взаимодействия и, в целом, к повышению эффективности функционирования организации по назначению. При этом под взаимодействием понимаются совместная выработка единого замысла, принятие решения или разработка каких-либо других материалов для решения целевых задач. Такое взаимодействие позволяет ЛПР транслировать собственное понимание и видение вариантов решения задач собственным подчиненным для более качественного их уяснения; оценивать возможные варианты действий; вырабатывать критерии оценки; принимать решения о своих дальнейших действиях и реализовывать принятые решения. Таким образом, в рамках СЦК взаимодействие направлено на повышение качества информационного обмена, осведомленности и взаимопонимания между всеми

ЛПР больших организаций в интересах поддержки принятия решений и координации совместных действий [1].

В ближайшие время организациям, построенным на основе принципов сетецентрического управления (системам государственного управления, корпорациям, вооруженным силам), придется действовать в среде, характеризующейся все возрастающей сложностью, непредсказуемостью и динамизмом. Высокая динамика изменения условий среды функционирования создадут дополнительную нагрузку на все компоненты систем управления, что потребует не только повышения степени взаимодействия сил и средств, но и повышения интенсивности информационного обмена с другими смежными структурами, ведомствами и партнерами. Чтобы добиться успеха в новых условиях, необходимо иметь способность динамически интегрировать самые разнообразные множества сил и средств в единую информационную среду. Необходимо уменьшить внутренние формальные процедуры информационного обмена, согласования управленческих решений в интересах повышения адаптированной сетецентрических систем управления в новых условиях. При этом повышение уровня информационной интеграции сил и средств в организациях должно быть распространено от самого верхнего до самого низкого уровня управления [1].

1.2. Анализ руководящих документов и стандартов по сетецентрической концепции

Следует сказать, что за рубежом помимо большого числа научных исследований, направленных на доработку сетецентрической концепции, большое внимание уделяется формированию юридического базиса СЦК – разработке и введение в действие руководящих документов, регламентирующих архитектуру построения и принципы функционирования ССУ. В частности, в Министерстве обороны США (Department of Defence – DoD) был разработан и введен в действие целый ряд взаимоувязанных нормативных документов, таких как: упоминавшаяся Концепция функционального объединения на основе сетецентрической среды [21];

Концепция оперативного интегрального объединения на основе сетцентрической среды – NCOE JFC (Net-Centric Operational Environment Joint Integrating Concept) [22]; Стратегия построения сетцентрических объединений сил и средств в интересах Министерства обороны США (Department of Defense Net-Centric Services Strategy for a Net-Centric, Service Oriented DoD Enterprise) [23]; Стратегия перехода организаций Министерства обороны США к сетцентрической архитектуре (Department of Defense Enterprise Architecture Transition Strategy) [24].

Мы не будем подробно рассматривать указанные документы, поскольку они изданы более 10 лет назад, в некоторой части могли устареть, и имеют военную направленность, но при разрешении проблемы обеспечения интероперабельности сетцентрических систем управления должны быть разработаны аналоги названных документов.

Отдельно отметим, что отечественных документов, подобных [21] пока не существует, при этом в известных публикациях [25-32] именно открытость, т.е. интероперабельность упоминается как основной признак сетцентрической системы.

1.3. Основные сетцентрические принципы

В основу функционирования ССУ положены, так называемые, сетцентрические принципы. основополагающим руководящим документом в котором эти принципы впервые сформулированы, следует считать документ Министерства обороны США NCE JFC (Centric Environment Joint Functional Concept), опубликованный в 2005 г. [1, 21].

К основным сетцентрическим принципам относятся следующие.

1) *Формирование единой распределенной информационной инфраструктуры.* Такая инфраструктура делает возможным бесшовную циркуляцию информации и тем самым позволяет организовать взаимодействие различных пользователей через сетцентрическую среду. Информационная инфраструктура должна быть равномерно распределена по физическим элементам ССУ, поддерживать организационные сетевые структуры, процессы

и потоки информации, необходимые пользователям для взаимодействия в сетевцентрической среде. Разработка, развертывание и использование информационной инфраструктуры должны осуществляться по следующим правилам [21]:

- адаптация к изменяющимся требованиям, приоритетам и воздействиям при передаче информации внутри инфраструктуры;
- связывание коллективных и индивидуальных пользователей в глобальную сеть, устранение барьеров, создаваемых географическими условиями (естественными и искусственно созданными), физическое перемещение своих компонентов.

2) *Индивидуальное управление информацией.* Достижения в области информационных технологий позволяют информационной инфраструктуре передавать большие объемы информации от ее источников к потребителям с высокой скоростью. Главным преимуществом от этого служит то, что требования к информации могут быть динамически переопределены ее потребителями. Таким образом, управление информацией перестает быть функцией системы управления и становится функцией пользователя [21].

Развитие процессов принятия решений подразумевает, что ЛПР, в случае необходимости должны уметь фильтровать, структурировать и визуально представлять информацию в понятном для них виде, без снижения ее качества и достоверности [21].

Для обеспечения индивидуального управления информацией необходимо использовать высокоскоростные средства обработки и анализа информации, средства формирования и обработки метаданных, а также средства формирования баз знаний на основе онтологий. Эти средства должны обеспечить функционирование интеллектуальных программ поиска, обеспечивающих поиск и доступ к информации авторизованных пользователей, в соответствии с их потребностями и полномочиями [21].

3) *Взаимозависимость и интеллектуальная интеграция элементов системы.* Взаимозависимость – это форма действий, в которой разные

участники вносят свой вклад в достижение общих задач и полагаются друг на друга при использовании важных взаимных возможностей, не дублируя эти возможности своими силами [21].

В настоящее время интеграция объединенных сил, как правило, осуществляется на уровне их ЛПР и часто характеризуется автономностью и бесконфликтностью, характерными для самых низших уровней интеграции. В этом случае возможности каждого подразделения остаются полностью отделенными от других и даже если они пересекаются с возможностями всей организации, то это происходит на более высоком уровне управления. Поскольку подразделения редко используют сразу все возможности, имеющиеся в их распоряжении для решения поставленных перед ними задач, то значительная часть возможностей внутри объединенных сил остается незадействованной [21].

Устраняя барьеры на пути информационных потоков и соединяя географически удаленные элементы объединенных сил и средств, сетцентрическая среда предоставляет им возможность использовать преимущества специализации каждого элемента при выполнении целевой задачи. Специфические возможности, которые характеризуются невысокой степенью использования, могут находиться «в резерве» или предоставляться тем подразделениям, которым они крайне необходимы [21].

4) *Бесшовный информационный обмен* – является основным сетцентрическим принципом и подразумевает открытость системы к обмену информации для всех ее элементов. Информация, генерируемая, обрабатываемая и используемая в сетцентрической системе, должна быть доступной, понятной, верифицируемой, актуальной и достоверной для всех пользователей. Именно этот основополагающий принцип положен в основу других, вышеуказанных сетцентрических принципов [21]. При этом, в свою очередь, сам принцип бесшовного информационного обмена основан на свойстве интероперабельности.

Таким образом, именно интероперабельность является фундаментальным свойством, которое связывает различные элементы системы в единую сетевую среду, наличие которой позволяет обеспечить выполнение и других принципов построения сетевых систем.

1.4. Анализ реализации сетевой концепции применительно к различным сферам деятельности

В большинстве работ по ССУ, рассматривается применение сетевой концепции к процессам военного управления, рассмотрение ее в составе системы управления войсками и оружием (СУВО). В СССР автором первоначальной отечественной версии сетевой концепции управления применительно к СУВО считается начальник Генерального штаба Вооруженных сил СССР маршал Н.И. Огарков, работы которого относятся к началу 1980-х гг. Другими теоретическими работами, которые в дальнейшем были положены в основу концепции сетевого управления в СУВО являются работы Дж. Вардена (J. Warden) [9], а также работы, рассматривающие теории Дж. Бойда (J. Boyd) [33, 34], которые формализуют процесс военного управления в СУВО в виде многократного повторения цикла действий, составленного из четырех последовательных взаимодействующих процессов, таких как: наблюдение, ориентация, решение, действие. Окончательно, в ее современном виде концепция сетевого управления в СУВО, как новая концепция управления, была системно обобщена в работах американских военных теоретиков А.К. Сибровски (A.K. Sebrowski) и Дж. Дж. Гарстка (J.J. Garstka) [6-8] и была широко поддержана Министром обороны США Д. Рамсфельдом (D. Rumsfeld) [5].

Вместе с тем, как отмечают авторы СЦК в СУВО, данный принцип был ими позаимствован из сферы бизнеса, в частности, из организации предпринимательской деятельности в компаниях розничной торговли. Таким образом, сетевые системы управления, характерны не только для военной области, но и для других отраслей техники и экономики. Так авторы работ [6-8] рассматривали сетевую компанию как

самосинхронизирующуюся, саморегулируемую, рассредоточенную сеть магазинов/филиалов/подразделений, располагающую сведениями о происходящем движении товаров, услуг и проводимых операциях в реальном масштабе времени. При этом управление движением товаров, транзакций и услуг в сетевидной компании осуществляется по горизонтальной информационной сети, а не по вертикальной системе управления. Таким образом сетевидная компания, в целом, включает в себя три составляющие: инфраструктурную, сенсорную и операционную. Две первые играют ключевую роль в обеспечении ситуационной осведомленности и обеспечении превосходства в сфере своей деятельности. Таким образом, сетевидное управление характерно не только для военной сферы, но также является новым высокоэффективным принципом управления и организации бесшовной циркуляции информации, используемых в ведущих корпорациях (таблица 1).

Таблица 1. Сравнительный анализ реализации сетевидной концепции в экономической и военной сфере [1]

Главные факторы	Реализация в экономических процессах	Реализация в военном деле
Основной используемый ресурс	Информация, знание	Знание, развединформация о противнике, местности, климатических, гидрометеорологических условиях и т.п., о возможностях и расположении своих войск и т.п. Обеспечение информационного превосходства над противником
Важность нематериальных ресурсов	Ценность бизнес-организации определяется способностью создавать, приобретать, распределять и применять знания	Эффективность применения войск определяется способностью добывать, доводить до войск и правильно использовать информацию, интеллектуализацией ВВТ
Уход от массовости	Автоматизация производства, способность обеспечить индивидуализацию создания изделий с учетом уникальности ситуаций и требований	Точечность и дозированность применения средств поражения по ключевым элементам инфраструктуры и боевых порядков противника, гибкость применения ВВТ за счет ее интеллектуализации

Главные факторы	Реализация в экономических процессах	Реализация в военном деле
Труд	Высококвалифицированный персонал, специализация, резкое падение взаимозаменяемости работников	Обученность военнослужащих, профессионализация армии
Инновации	Интенсификация применения новых идей, изделий, технологий, процессов и т.д.	Быстрая сменяемость поколений вооружений на основе интенсивного внедрения информационных технологий и оружия на новых физических принципах
Масштаб	Сокращение рабочих коллективов, распределенные системы производства, переход на принцип «коллектив под проект», виртуальный офис, миниатюризация изделий	Уход от массовых армий, сокращение расчетов, подразделений при сохранении эффективности систем оружия, повышение индивидуальных возможностей солдата, создание разнородных воинских формирований под конкретную задачу», миниатюризация средств вооруженной борьбы
Организация	Иерархические структуры уступают место сетевым, обладающим гибкостью и лишенным бюрократической надстройки	Сетецентрические принципы управления войсками
Системная интеграция	Увязывание, синхронизация действий множества источников ресурсов, потребителей и процессов производства	Оптимизация и синхронизация (на основе автоматизации) боевого применения разнородных группировок войск, их технического и тылового обеспечения
Инфраструктура	Высокоскоростные глобальные электронные информационные сети, единое унифицированное информационное пространство предприятия	Быстро сопрягаемые высокоскоростные электронные информационные сети, единое информационное пространство ТВД
Ускорение	Экономика масштаба сменяется экономикой скорости, работа в реальном масштабе времени	Превосходство над противником в скорости реализации цикла «разведка – принятие решения – управление – поражение», обеспечение действий в реальном масштабе времени

Таким образом, сетецентрическое управление характерно не только для военной сферы, но также является новым высокоэффективным принципом управления в самых различных областях экономики.

2. Интероперабельность

2.1. Общие положения

Согласно общепринятому определению, данному организациями по стандартизации: *интероперабельность* – способность двух или более информационных систем или компонентов к обмену информацией и к использованию информации, полученной в результате обмена.

Необходимо отметить, что в других документах (например, в документах Министерства обороны США) даются отличающиеся определения понятия «интероперабельность». Однако, в мировом сообществе считается, что надо отдавать предпочтение определениям, которые дают организации по стандартизации, поскольку эти определения прошли наибольшее количество итераций согласования.



Рис. 1. Эталонная модель интероперабельности [11].

В основе достижения интероперабельности лежит использование согласованных наборов стандартов ИКТ-технологий – профилей. Следует отметить, что использование ИКТ-стандартов – необходимое, но недостаточное условие достижения интероперабельности. ИКТ-стандарты обеспечивают достижение интероперабельности на техническом уровне (рис. 1). Полная же интероперабельность должна достигаться на более высоких уровнях, связанных с осмыслением информации и использованием ее в организационных контурах принятия решений – «семантическом» и «организационном» (рис. 1). Достижение интероперабельности на семантическом уровне является особенно

сложным. Эта проблема до конца не решена во всем мире, несмотря на все возрастающую ее актуальность.

2.2. Состояние работ по интероперабельности за рубежом

За рубежом проблемой интероперабельности занимаются многие исследователи и организации. В 2010 г. Международная организация по стандартизации (International Standardization Organization – ISO) посвятила проблеме интероперабельности специальный выпуск журнала ISO Focus+ [35]. В большинстве развитых и развивающихся стран обеспечение интероперабельности составляет неотъемлемую часть технической политики по развитию и применению информационных технологий. Так в Евросоюзе в течение ряда лет существует документ «Европейская концепция интероперабельности» – European Interoperability Framework (EIF), разработанный Европейской Комиссией. Этот документ постоянно обновляется, последняя его версия была опубликована в 2017 г. [36]. По его подобию разрабатываются и документы национального масштаба во многих странах

В дополнение следует сказать, что, как известно, в настоящее время мир вступил в эпоху четвертой промышленной революции, получившей также наименование «Industry 4.0». Industry 4.0 включает 6 важнейших факторов и составляющих, которые будут определять высокотехнологическое производство в ближайшем будущем [37-39]:

- система управления жизненным циклом изделия (PLM – Product Lifecycle Management);
- Большие данные (Big Data);
- интеллектуальное производство (Smart Factory);
- киберфизические системы;
- интернет вещей (IoT – Internet of Things);
- интероперабельность.

Таким образом, интероперабельность – один из важнейших факторов промышленной концепции Industry 4.0, связывающий и объединяющий

отдельные элементы Industry 4.0 в единую интегрированную систему. Без обеспечения интероперабельности создать работоспособную интегрированную производственную систему Industry 4.0 невозможно. К сожалению, компании-разработчики систем автоматизации долгое время развивали свои продукты без единых стандартов, не учитывая перспективы глобализации и потенциальные потребности в интеграции своих клиентов. Такая тенденция наблюдается и в настоящее время, но в последние годы ситуация в корне меняется, ведущие компании-разработчики систем автоматизации, модифицируют свои продукты делая их интероперабельными, идя навстречу актуальным потребностям своих клиентов [37].

2.3. Состояние работ по интероперабельности в России

В РФ работы по интероперабельности начались в 2007 г. под руководством академика РАН Ю.В. Гуляева [13, 14]. Был поставлен вопрос о необходимости разрешения проблемы интероперабельности, была организована и проведена первая научно-техническая конференция «Интероперабельность и ИТ-стандартизация». Впоследствии были проведены ещё четыре конференции. Проблема интероперабельности имеет фундаментальные и прикладные аспекты. В нашей стране фундаментальные аспекты решаются в рамках программы «Программа фундаментальных исследований государственных академий наук» на 2013-2020 гг. (п. 34), а также в рамках проектов РФФИ (рубрика 07-246). Проблеме интероперабельности был посвящён специальный выпуск журнала «Информационные технологии и вычислительные системы» 2009 г. № 5 и ряд отдельных публикаций [40, 41], однако интероперабельность в приложении к сетцентрическим системам в известных отечественных работах не рассматривалась.

К сожалению, исследования прикладных аспектов интероперабельности, не получили широкого развития в нашей стране, они лишь обозначены на декларативном уровне, в государственной программе «Цифровая экономика».

2.4. Разработка и применение единого подхода к обеспечению интероперабельности

Наиболее систематизированные работы по разрешению проблемы интероперабельности ведутся в Институте радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова РАН. Специалистами данного института в 2012 г. на основе анализа большого количества материалов и собственного значительного опыта предложен единый подход к обеспечению интероперабельности для информационных систем самого широкого класса, включая системы различного назначения и масштаба (от нано-систем до сверхбольших систем), который представлен в работе [13].

Суть предложенного подхода к достижению интероперабельности заключается в необходимости выполнения ряда основных и вспомогательных этапов (рис. 2). К основным этапам относятся этапы 1-6, к вспомогательным – этапы 7, 8, 9. Вышеуказанный подход был оформлен в виде государственного стандарта ГОСТ Р 55062-2012 [11] и признан научной общественностью [42].

Впоследствии этот единый подход был применен к информационным системам (ИС) различных классов и различного назначения [15-19]. Следует отметить, что на пути достижения интероперабельности встречаются барьеры. Подробно о барьерах в достижении интероперабельности указано в ГОСТ Р ИСО 11354-1-2012 [43], в котором, в частности, выделены три категории барьеров: концептуальные, технологические и организационные. Основной причиной подобных барьеров чаще всего становится функциональная разобщенность информационных систем, усугубляемая их различной принадлежностью, разнородностью принципов их построения и уровнем технической реализации.

В развитие единого подхода к обеспечению интероперабельности проблемы ее анализа и реализации в [39] предложено рассматривать в свете процессных аспектов. При этом условия обеспечения интероперабельности информационных систем рассматриваются с учетом комплексного характера организационных, организационно-технических и технологических факторов,

запускающих в рамках объекта воздействия негативные, либо позитивные процессы, приводящие к изменению свойств объекта. Переход от традиционной функциональной основы создания интегрированных многофункциональных информационно-управляющих систем на базе сетцентрического принципа к процессной основе его реализации с учетом выявления, анализа и оптимизации соответствующих организационных, организационно-технических и технико-технологических процессов, рассматриваемых в виде полной группы процессов на протяжении жизненного цикла систем, открывает новые направления обеспечения интероперабельности.

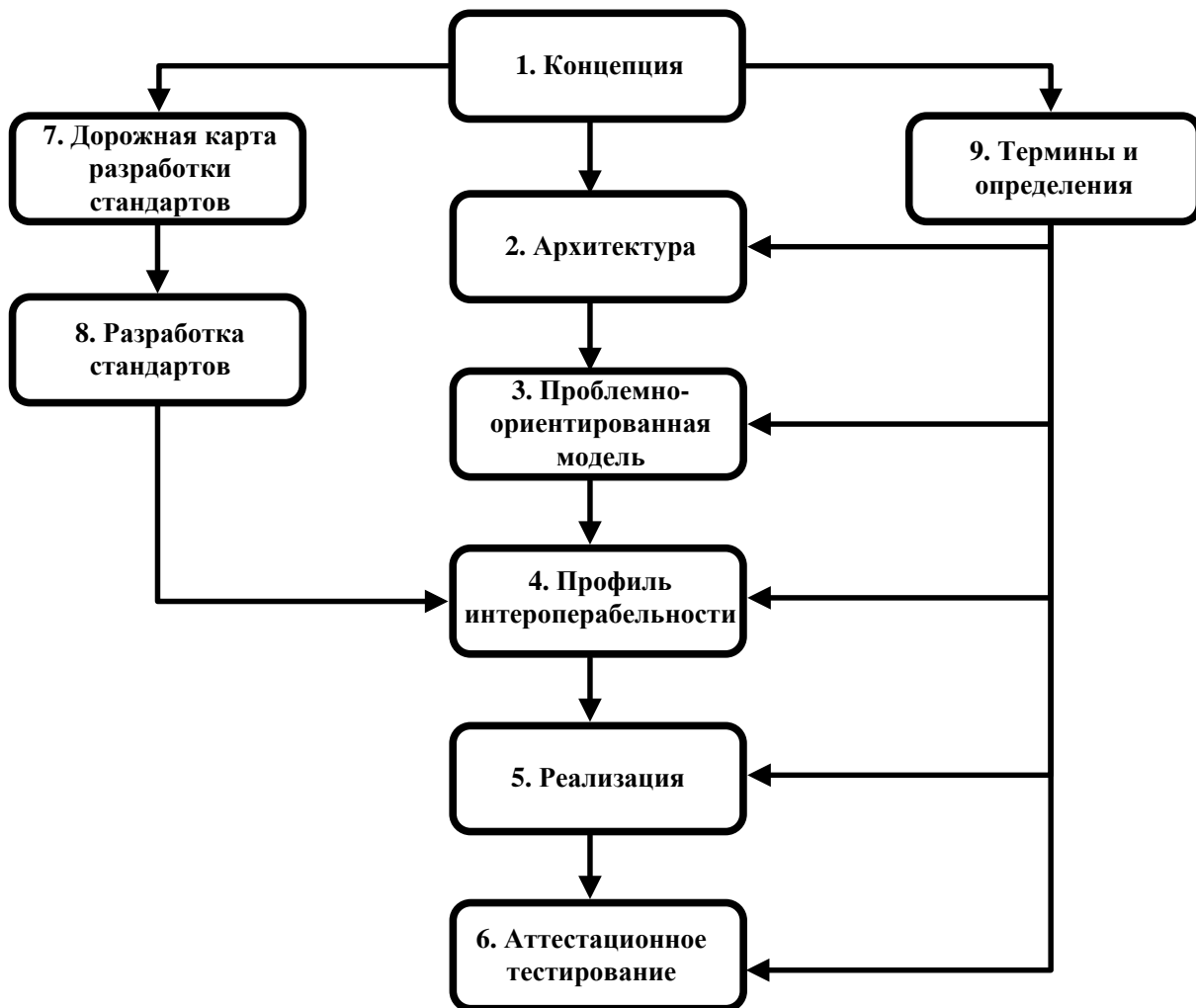


Рис. 2. Схема методики по обеспечению интероперабельности

Поскольку обеспечение интероперабельности основано на использовании ИКТ-стандартов, это обстоятельство является основным сдерживающим

фактором в ее достижении. Согласно ФЗ «О стандартизации» на территории России, в первую очередь, должны применяться национальные стандарты (ГОСТ Р). Они, как правило, разрабатываются на основе международных стандартов усилиями технических комитетов Росстандарта. Основным техническим комитетом по разработке ИКТ-стандартов выступает Технический комитет ТК22 «Информационные технологии» [44], который служит «зеркалом» соединённого технического комитета JTC1 ISO/IEC.

Нормативно-техническое регулирование вопросов создания и развития интегрированных многофункциональных информационно-управляющих систем на базе сетцентрического принципа определяется следующими особенностями [39]:

- многозначность их целевого предназначения и условий применения, связанные с интенсивными процессами интеграции разнородных систем;
- противоречивость задач интегрированных систем, обусловленных как на стадии создания, так и эксплуатации конфликтностью основных по предназначению систем и противодействующих процессов внешнего и внутрисистемного характера;
- ресурсные ограничения на различных стадиях жизненного цикла интегрированных систем.

Поскольку перечисленные особенности, по существу, определяют граничные условия применения системного подхода, то от полноты и качества их анализа, оценки и учета во многом зависит интероперабельность создаваемых интегрированных информационно-управляющих систем, определяющая их многофункциональность и инвариантность к новым угрозам и формирующимся опасностям в сфере их применения.

Принимая во внимание широкие возможности развития процессной основы обеспечения интероперабельности при создании перспективных интегрированных многофункциональных информационно-управляющих систем, представляется весьма важным при формировании профиля

интероперабельности рассматривать в комплексе профили на уровне стандартов и процессов.

Для актуализации проблемы интероперабельности приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 апреля 2016 г. № 463 «О техническом комитете по стандартизации «Информационные технологии» [44] определены структура комитета ТК22 и перечень входящих организаций, в частности определено, что в ТК22 входят 23 подкомитета. В том числе, подкомитет ПК206 «Интероперабельность», ведение которого возложено на Институт радиотехники и электроники имени В.А. Котельникова РАН.

При этом нужно отметить, что проблемой интероперабельности применительно к сетевым системам до настоящего времени в России никто не занимался. Известна только одна публикация [45] по данной тематике, где рассматривается проблема интероперабельности применительно к корабельным системам, но данная проблема в ней рассматривается поверхностно, в частности, в этой публикации не рассматриваются такие важные понятия, как модель и профиль, а также не дается конкретных рекомендаций по достижению интероперабельности.

3. Анализ работ по интероперабельности сетевых систем консорциума NCOIC

С момента зарождения в 90-х годах XX в. концепции сетевого управления, предполагающей объединение всех организационно-технических элементов системы в ЕИП, организациями по стандартизации постоянно ведутся работы по выработке единого подхода к обеспечению интероперабельности компонентов сетевой системы. Особую роль в стандартизации процессов интероперабельности сыграл консорциум NCOIC (Network-Centric Operations Industry Consortium) [46]. Данный консорциум, опираясь на опыт проектирования военных сетевых систем управления, разработал ряд документов, регламентирующих обеспечение

интероперабельности в сетевых системах не только военного, но и гражданского назначения.

Развитие СЦК, и необходимость применения ее не только в военной, но и в гражданских областях (транснациональные компании, логистические сети, экономические и бизнес-процессы и т.д.), привело к актуализации разработки универсальной модели, которая формализовывала бы множество самых различных аспектов интероперабельности на основе системного подхода. Такая модель была в 2008 г. разработана консорциумом NCOIC и получила наименование SCOPE-модели (Systems, Capabilities, Operations, Programs, and Enterprises model for interoperability assessment) [47].

Модель SCOPE предназначена для качественно-количественной оценки характеристики различных аспектов интероперабельности анализируемой системы в соответствии с определенным набором параметров. Эти параметры организованы в виде определенной иерархии. На самом нижнем уровне иерархии каждый параметр соответствует определенному аспекту интероперабельности анализируемой системы и определяет этот аспект в виде количественных или качественных показателей. На верхнем уровне иерархии модель состоит из 4-ех групп параметров интероперабельности [47]:

- 1) параметры сетевого взаимодействия – характеризуют способность системы формировать сетевые структуры, а также позволяют управлять ими и информационными ресурсами в интересах обеспечения информационного взаимодействия объектов системы;
- 2) внутренние параметры системы – характеризуют внутренние параметры системы, которые определяют уровень ее интероперабельности;
- 3) внешние параметры системы – характеризуют такие внешние факторы, как среду и другие системы, которые влияют на данную систему в части уровня ее интероперабельности;
- 4) технико-экономические параметры – описывают технологические решения, на основе которых достигается свойство

интероперабельности, а также экономические аспекты целесообразности или риска от их внедрения.

Для того чтобы формализация, представленная в SCOPE-модели, могла быть с высокой эффективностью применена на практике при разработке реальных сетевых систем, консорциум NCOIC разработал дополнительные руководящие документы и рекомендации:

- Рекомендации по обеспечению интероперабельности при проектировании организационно-технических систем Рабочая программа NIF (NCOIC Interoperability Framework) [48, 49] – рекомендации по обеспечению интероперабельности при проектировании организационно-технических систем (разработана в 2008 г.);
- Основы сетевых систем (Core Net-centric Principles) [50] – определяют основополагающие принципы, позволяющие создавать, поддерживать функционирование и обеспечивать развитие сетевой системы, при том, что эти принципы инвариантны к области применения системы (разработаны в 2010 г., доработаны до версии 2.0 в 2012 г.);
- Функциональные шаблоны для сетевых систем (Operational Net-centric Patterns) [51] – шаблоны для обеспечения семантической и технической интероперабельности для вновь создаваемых систем (разработаны в 2010 г.);
- Средства анализа сетевых систем NCAT (Network Centric Analysis Tool) [52] – методические рекомендации по анализу, количественной и качественной оценке уровня интероперабельности технических, информационных, экономических и других реальных систем с целью формирования практических решений по улучшению их архитектуры и повышению уровня интероперабельности элементов и подсистем (разработаны в 2010 г., актуальной версией на сентябрь 2019 г. является версия 3.2);

- Белая книга по обеспечению информационной безопасности в сетевых системах – NCOIC White Paper on the Cybersecurity Landscape [53] (разработана в 2012 г., актуализирована в 2015 г.);
- Рекомендации по обеспечению интероперабельности в сложных сетевых системах, с учетом аспектов управления, техники, экономики и культуры – NCOIC QuadTrangle [54] (разработаны в 2016 г.).

Таким образом, с 2008 по 2016 гг. консорциум NCOIC разработал основополагающие документы [47-54] в области интероперабельности сетевых систем. В настоящее время консорциум NCOIC уточняет и дополняет уже разработанные документы с целью поддержания их актуальности.

Отметим, что на основе руководящих документов консорциума NCOIC, широко разрабатываются и другие документы, регламентирующие реализацию свойства интероперабельности в различных сетевых системах. К таким недавним документам относится «Стандарты и профили интероперабельности НАТО» – NATO Interoperability Standards and Profiles (NISP) [55-57].

На основе изложенного в данном разделе при решении проблемы интероперабельности применительно к сетевым системам управления представляется целесообразным в качестве первоочередного документа разработать документ «модель интероперабельности», прототипом которого может служить Score-модель, представленная в работе [47].

4. ИКТ-стандарты, необходимые для обеспечения интероперабельности в сетевых системах управления

Документ NISP (NATO Interoperability Standards and Profiles) [55-57] разработан в 2016 г. специальной постоянно действующей группой NATO Consultation, Command and Control (C3) Board Interoperability Profiles Capability Team (IP CaT), текущая версия документа относится к 2018 г. Том 1 NISP «Введение» [55] описывает основные процедуры обеспечения стандартов и

профилей интероперабельности в объединённых ВС НАТО. Том 2 NISP [56] «Стандарты и профили интероперабельности» содержит перечень стандартов и профилей, при этом выделяются «обязательные», «формирующиеся», «устаревающие», «устаревшие» и «неприемлемые» стандарты. Перечислено большое количество стандартов, куда входят международные стандарты ИСО, корпоративные стандарты, включая стандарты НАТО, охватывающие большое число типов информационных услуг, в том числе услуги геоинформационных систем. В томе 3 NISP [57] «Кандидаты в стандарты и профили интероперабельности» представлены те стандарты и профили, которые планируются включить в число обязательных стандартов НАТО, и несмотря на то, что они пока не включены в число обязательных, их рекомендуется придерживаться.

На 3 августа 2018 г. документ NISP содержит 894 стандарта, при этом из них только 92 стандарта являются стандартами ИСО, что составляет лишь 11% от общего числа стандартов NISP. При этом в настоящее время только 29% стандартов ИСО приобрели статус ГОСТ Р. Этот момент является весьма важным так как в соответствии с ФЗ «О стандартизации» на территории России должны применяться в первую очередь национальные стандарты (ГОСТ Р), а их число, пока составляет около 3% от необходимого числа стандартов.

Таким образом, можно сделать вывод, что для обеспечения интероперабельности в сетевых системах управления предстоит провести очень большую работу. В первую очередь целесообразно форсировать работу по приданию статуса ГОСТ Р стандартам ИСО, используя для этой цели возможности подкомитета ПК206/ТК22 «Интероперабельность».

Однако, кроме стандартов ИСО, имеются еще и стандарты НАТО, а также корпоративные стандарты других организаций (см. таблицу 2) получить которые весьма непросто, не являясь членом данной организации.

Заметим, что из стандартов ISO/IEC и ISO к настоящему времени примерно только 5% получили статус ГОСТ Р. Учитывая возможности ПК206/ТК22 и простоту приобретения англоязычных документов, придание

ИКТ-стандартам, указанным в таблице 2, статуса ГОСТ Р следует начинать со стандартов ISO и ISO/IEC. Однако первоочередным представляется разработка документов более высокого уровня, в первую очередь документов, зарубежными прототипами которых служат: SCOPE-модель [47], рекомендации по обеспечению интероперабельности при проектировании организационно-технических систем – NIF [48, 49], функциональные шаблоны (профили) для сетцентрических систем [51].

Таблица 2. Стандарты различных организаций.

Организация	Количество стандартов
Internet Engineering Task Force	239
NATO Standardization Office	128
ISO/IEC	78
W3C	59
NATO	40
XMPP Standards Foundation	39
International Interface Control Working Group	31
ITU Standardisation	28
OASIS	28
Combined Communications and Electronic Board	27
Open GIS Consortium	17
NATO Standardization Office (expected in future)	17
Institute of Electrical and Electronics Engineers	15
ISO	14
Прочие	94

Заключение

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. Обеспечение интероперабельности – важнейший принцип построения и функционирования сетцентрических систем управления,

- представляющих основу перспективных интегрированных многофункциональных информационно-управляющих систем различного назначения.
2. Обеспечение интероперабельности – сложная научно-техническая и организационно-методическая проблема, требующая разработки и применения новых методов с учетом складывающихся ограничений системного подхода, связанных с многозначностью целевого предназначения сетцентрических систем управления, противоречивостью их отдельных задач и ресурсными ограничениями на различных стадиях их жизненного цикла.
 3. В настоящее время первостепенная задача в области сетцентрических систем – разработка теоретических основ обеспечения интероперабельности. Для решения этой задачи целесообразно использовать единый подход, предложенный авторами ранее и зафиксированный в ГОСТ Р 55062-2012, с учетом развития процессных аспектов обеспечения интероперабельности, одновременно с максимальным использованием зарубежного опыта, в первую очередь опыта международного консорциума Netcentric Operations Industry Consortium.
 4. Предлагается, в первую очередь, сосредоточиться на разработке концептуальных документов по обеспечению интероперабельности в сетцентрических системах управления.
 5. Одновременно с п. 4 необходимо форсировать разработку национальных ИКТ-стандартов, регламентирующих обеспечение интероперабельности при создании интегрированных многофункциональных информационно-управляющих систем на базе сетцентрического принципа, с учетом формирования профилей на уровне стандартов и процессов.

Литература

1. Макаренко С. И., Иванов М. С. Сетецентрическая война – принципы, технологии, примеры и перспективы. Монография. – СПб.: Научные технологии, 2018. – 898 с.
2. Буренок В. М. Базис следующего поколения войн // Вестник академии военных наук. 2011. № 3. С. 32-37.
3. Рахманов А. А. Сетецентрические системы управления – закономерные тенденции, проблемные вопросы и пути их решения // Военная мысль. 2011. № 3. С. 41-50.
4. Макаренко С. И., Бережнов А. Н. Перспективы использования сетецентрических технологий управления боевыми действиями и проблемы их внедрения в вооруженных силах Российской Федерации // Вестник академии военных наук. 2011. № 4 (37). С. 64-68.
5. Hersprin D. R. Rumsfeld's Wars: The Arrogance of Power. – Lawrence, Kans.: University Press of Kansas, 2008.
6. Cebrowski A. K., Garstka J. J. Network-Centric Warfare: Its Origin and Future // U.S. Naval Institute Proceedings. – Annapolis (Maryland), 1998.
7. Alberts D. S., Garstka J. J., Stein F. P. Network Centric Warfare: Developing and Leveraging Information Superiority. 2-nd Edition (Revised). – US Department of Defense C4ISR Cooperative Research Program Publications Series, 2001. – 292 p. – URL: http://www.dodccrp.org/files/Alberts_NCW.pdf (дата обращения 19.01.2019).
8. Alberts D. S., Garstka J. J., Hayes R. E., Signori D. A. Understanding Information Age Warfare. – Washington: CCRP, 2001. – 319 p.
9. Warden J. A. The Air Campaign: Planning for Combat. – National Defense University Press Publication, 1988.
10. ISO/IEC/IEEE 24765:2017. Systems and software engineering – Vocabulary. – ISO, 2017. – 522 p.

11. ГОСТ Р 55062-2012. Информационные технологии (ИТ). Системы промышленной автоматизации и их интеграция. Интероперабельность. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2014. – 12 с.
12. Программа фундаментальных исследований государственных академий наук на 2013-2020 гг. Распоряжение Правительства РФ от 3 декабря 2012 г. №2237-р – М.: РАН, 2012. – URL: <http://www.ras.ru/FStorage/Download.aspx?id=62d335ba-2aea-4803-85ee-fd0cd37aba4b> (дата обращения 19.10.2019).
13. Гуляев Ю. В., Журавлев Е. Е., Олейников А. Я. Методология стандартизации для обеспечения интероперабельности информационных систем широкого класса. Аналитический обзор // Журнал радиоэлектроники. 2012. № 3. Режим доступа <http://jre.cplire.ru/jre/mar12/2/text.pdf>.
14. Гуляев Ю. В., Олейников А. Я. Состояние и перспективы развития технологии открытых систем // Информационные технологии и вычислительные системы. 2006. № 3. С. 7-18.
15. Олейников А. Я., Разинкин Е. И. Профиль интероперабельности в области электронной коммерции // Информационные технологии и вычислительные системы. 2013. № 4. С. 74-79.
16. Журавлев Е. Е., Иванов С. В., Каменщиков А. А., Корниенко В. Н., Олейников А. Я., Широбокова Т. Д. Особенности методики обеспечения интероперабельности в ГРИД-среде и облачных вычислениях // Компьютерные исследования и моделирование. 2015. Т. 7. № 3. С. 675-682.
17. Быстров Р. П., Корниенко В. Н., Олейников А. Я. Интероперабельность, информационное противоборство и радиоэлектронная борьба // Успехи современной радиоэлектроники. 2018. № 5. С. 15-34.
18. Олейников А. Я., Егоров Г. А., Журавлев Е. Е., Королев А. С., Кочуков А. Н., Широбокова Т. Д. Применение технологии открытых систем для создания интегрированных информационных систем промышленных предприятий // Радиопромышленность. 2006. № 2. С. 90-107.

19. Олейников А. Я., Каменщиков А. А. Роль интероперабельности в цифровой экономике и обороноспособности страны // ИТ-Стандарт. 2017. № 4 (13). С. 31-35.
20. Технология открытых систем. Монография / Под ред. А.Я. Олейникова – М.: Янус-К, 2004. – 288 с.
21. Net-Centric Environment Joint Functional Concept. 2005. – URL: https://dodcio.defense.gov/Portals/0/Documents/netcentric_jic.pdf (дата обращения 22.10.2019).
22. Net-Centric Operational Environment Joint Integrating Concept (NCOE). 2005. – URL: https://dodcio.defense.gov/Portals/0/Documents/netcentric_jic.pdf (дата обращения 22.10.2019).
23. Department of Defense Net-Centric Services Strategy for a Net-Centric, Service Oriented DoD Enterprise. 2007. – URL: https://dodcio.defense.gov/Portals/0/documents/DoD_NetCentricServicesStrategy.pdf (дата обращения 22.10.2019).
24. Department of Defense Enterprise Architecture Transition Strategy. 2008. – URL: http://extras.slttrib.com/Utah_Data_Center/EATransitionStrategy.pdf (дата обращения 22.10.2019).
25. Макаренко А. В. Введение в сетцентрические информационно-управляющие системы // Конструктивная кибернетика [Электронный ресурс]. 2010. – URL: <http://www.rdcn.ru/estimation/2010/03042010.shtml>(дата обращения: 21.02.2019).
26. Макаренко А. В. Парадигма сетцентрического управления – современный взгляд. // Конструктивная кибернетика [Электронный ресурс]. 2010. – URL: <http://www.rdcn.ru/estimation/2010/17062010.shtml> (дата общения: 21.10.2019).
27. Ефремов А. Ю., Максимов Д. Ю. Сетцентрическая система управления – что вкладывается в это понятие? // Труды 3-й Всероссийской конференции с международным участием «Технические и программные средства систем

- управления, контроля и измерения» (УКИ-2012). – М.: ИПУ РАН, 2012. – С. 158-161.
28. Трахтенгерц Э. А., Пащенко Ф. Ф. Использование сетевых принципов в технологиях цифровой экономики // Датчики и системы. 2018. № 7 (227). С. 3-14.
29. Трахтенгерц Э. А., Пащенко Ф. Ф. Массирование результатов и самосинхронизация в сетевых системах // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2017. № 2. С. 4-12.
30. Трахтенгерц Э. А., Пащенко Ф. Ф. Синергетические эффекты в сетевых системах // Датчики и системы. 2017. № 11 (219). С. 3-12.
31. Трахтенгерц Э. А., Пащенко Ф. Ф. Некоторые особенности сетевого управления в крупномасштабных сетях // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2015. № 4. С. 12-21.
32. Трахтенгерц Э. А. Использование сетевого принципа самосинхронизации в управлении // Открытое образование. 2015. № 2 (109). С. 15-23.
33. Арзуманян Р. В. Кромка Хаоса. Сложное мышление и сеть: парадигма нелинейности и среда безопасности XXI века. – М.: Регнум, 2012. – 600 с.
34. Ивлев А. А. Основы теории Бойда. Направления развития, применения и реализации: Монография. Москва, 2008. – 64 с. URL: http://pentagonus.ru/ld/0/23_KES.pdf
35. ISO Focus+. The magazine of the International Standardization Organization. 2010. vol. 1. № 2. – URL: [https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/news/magazine/ISO%20Focus%2b%20\(2010-2013\)/en/2010/ISO%20Focus%2b%2c%20February%202010.pdf](https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/news/magazine/ISO%20Focus%2b%20(2010-2013)/en/2010/ISO%20Focus%2b%2c%20February%202010.pdf) (дата доступа: 21.10.2019).
36. New European Interoperability Framework. Promoting seamless services and data flows for European public administrations. – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2017. – 48 p. – URL:

- https://ec.europa.eu/isa2/sites/isa/files/eif_brochure_final.pdf (дата доступа: 21.10.2019).
37. 6 составляющих Industry 4.0 // ПТМ-Автоматика [Электронный ресурс]. 2016. – URL: <http://www.plm.pw/2016/09/The-6-Factors-of-Industry-4.0.html> (дата доступа: 21.10.2019).
38. Олейников А. Я. Проблема интероперабельности в платформе Industry 4.0. и смежных областях // Сборник трудов IX Международной научной конференции «ИТ-Стандарт 2019». – М.: РГУ-МИРЭА, 2019. – С. 49-56. – URL: <https://www.cksit-rspp.ru/upload/iblock/856/8569700483b0b1df880caf5f88f889cc.pdf> (дата доступа: 21.10.2019).
39. Козлов С. В. Процессные аспекты интероперабельности интегрированных систем управления // Сборник трудов IX Международной научной конференции «ИТ-Стандарт 2019». – М.: РГУ-МИРЭА, 2019. – С. 67-73. – URL: <https://www.cksit-rspp.ru/upload/iblock/856/8569700483b0b1df880caf5f88f889cc.pdf> (дата доступа: 21.10.2019).
40. Илюшин Г. Я., Соколов И. А. Организация управляемого доступа пользователей к разнородным ведомственным информационным ресурсам // Информатика и её применение. 2010. Том 4. № 1. С. 24-40. – URL: http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=ia&paperid=15&option_lang=rus (дата доступа: 21.10.2019).
41. Головин С. А., Андрианова Е. Г., Гудкова О. К., Лаптев А. Н. Методика формирования профилей стандартов информационных технологий в интересах обеспечения интероперабельности сложных распределенных систем // Журнал радиоэлектроники. 2014. № 12. С. 25. – URL: <http://jre.cplire.ru/jre/dec14/16/text.html> (дата доступа: 21.10.2019).
42. Акаткин Ю. М., Ясиновская Е. Д. Цифровая трансформация государственного управления: Датацентричность и семантическая

- интероперабельность / Под ред. В.А. Конявского. – М.: ЛЕНАНД, 2019. – 724 с. – URL: <https://urss.ru/elib/249005/#> (дата доступа: 21.10.2019).
43. ГОСТ Р ИСО 11354-1-2012. Усовершенствованные автоматизированные технологии и их применение. Требования к установлению интероперабельности процессов промышленных предприятий. Часть 1. Основа интероперабельности предприятий. – М.: Стандартинформ, 2014. – 34 с.
44. О техническом комитете по стандартизации «Информационные технологии». Приказ Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 апреля 2016 г. № 463. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/456004466> (дата доступа: 21.10.2019).
45. Куприянов А. А. Сетецентрические военные действия и вопросы интероперабельности автоматизированных систем // Автоматизация процессов управления. 2011. № 3. С. 82-97.
46. Network-Centric Operations Industry Consortium (NCOIC). 2019. – URL: <https://www.ncoic.org> (дата доступа: 21.10.2019).
47. Systems, Capabilities, Operations, Programs, and Enterprises (SCOPE) Model for Interoperability Assessment. Version 1.0. – NCOIC, 2008. – 154 p.
48. NCOIC Interoperability Framework and NCOIC Patterns Overview. – NCOIC, 2008. – 30 p. – URL: https://www.ncoic.org/images/technology/NIF_Pattern_Overview.pdf (дата доступа: 21.10.2019).
49. NCOIC Interoperability Framework (NIF v. 2.1) and NIF Solution Description Reference Manual (NSD-RM v. 1.2). – NCOIC, 2008. – 125 p.
50. Core Net-Centric Principles. Version 2.0. – NCOIC, 2012. – 27 p.
51. Introduction to NCOIC Net-Centric Patterns. – NCOIC, 2010. – 26 p.
52. Network Centric Analysis Tool (NCAT). Overview with Java Tutorial. Version 3.1 Build 150. – NCOIC, 2010. – 25 p.
53. NCOIC White Paper on the Cybersecurity Landscape. – NCOIC, 2013. – 18 p.

54. NCOIC QuadTrangle. – NCOIC, 2016. – URL: <https://www.ncoic.org/ncoic-quadtrangle/> (дата доступа: 21.10.2019).
55. NATO Interoperability Standards and Profiles. Volume 1: Introduction. – C3B Interoperability Profiles Capability Team, 2018. – 48 p.
56. NATO Interoperability Standards and Profiles. Volume 2: Agreed Interoperability Standards and Profiles. – C3B Interoperability Profiles Capability Team, 2018. – 90 p.
57. NATO Interoperability Standards and Profiles. Volume 3: Candidate Interoperability Standards and Profiles. – C3B Interoperability Profiles Capability Team, 2018. – 18 p.

Для цитирования:

Козлов С.В., Макаренко С.И., Олейников А.Я., Растягаев Д.В., Черницкая Т.Е. Проблема интероперабельности в сетцентрических системах управления. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2019. № 12. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/dec19/4/text.pdf>. DOI 10.30898/1684-1719.2019.12.4