

СИСТЕМЫ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИХ РАЗРАБОТКУ И ВНЕДРЕНИЕ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

© 2022 г. И. Д. Ракитин^а, *, С. Б. Чебышов^а

^аАО “Специализированный научно-исследовательский институт приборостроения”, Москва, 123060 Россия

*E-mail: igor.rakitin@gmail.com

Поступила в редакцию 11.07.2022 г.

После доработки 11.07.2022 г.

Принята к публикации 18.07.2022 г.

Выполнен анализ соответствия отечественных и основных международных систем стандартов, научно-технической документации и руководств по цифровым системам контроля и управления атомных станций (АС), включая документы Международной электротехнической комиссии (МЭК), Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), Комиссии по ядерному регулированию (NRC) США, Института Инженеров по Электротехнике и Электронике (IEEE) США и др. Сформулированы рекомендации по номенклатуре и содержанию разрабатываемых в российской атомной отрасли нормативных и методических документов по стандартизации, а также по их гармонизации с международными системами и документами.

Ключевые слова: системы стандартов, Международная электротехническая комиссия (МЭК), Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ), нормативно-техническая документация, разработка, цифровые системы контроля и управления, атомные станции (АС)

DOI: 10.56304/S2079562922030381

РАЗЛИЧНЫЕ СИСТЕМЫ СТАНДАРТОВ

Трудно переоценить роль системы стандартов и нормативной документации для любой отрасли промышленности и вообще производства. Тем более велика и значима их роль в атомной промышленности и, в частности, в ядерном приборостроении и средствах автоматизации. Однако на международном и мировом уровне исторически возникло и до сих пор продолжается значительное рассогласование и расхождение между различными системами стандартов. Две крупнейшие международные организации разрабатывают стандарты в области ядерного приборостроения и, в частности, в области АСУ ТП АС: Международная электротехническая комиссия (МЭК) и Институт инженеров в области электротехники и электроники (IEEE). Долгое время эти организации работали независимо друг от друга, что обуславливает некоторые различия в подходах и требованиях, относящихся к одним и тем же вопросам. Различные третьи страны, развивающие или планирующие использовать атомную энергетику, ориентируются либо на стандарты МЭК (ЕЭС, ряд стран Азии) либо на IEEE (США, Канада, Южная Америка, Южная Корея и большинство стран Азии).

Наконец, особняком стоит Российская Федерация, унаследовавшая от СССР вместе с мощнейшим атомным промышленным комплексом еще и особую систему ГОСТов, а также собственную систему НТД, по ряду базовых понятий и принципов совершенно “перпендикулярную” обоим международным системам.

В настоящее время обозначения ГОСТ относятся к стандартам, принятым еще в советские времена и не утратившим своей действенности и актуальности по настоящее время. Стандарты, принятые в РФ, имеют обозначение ГОСТ Р. Наконец, стандарты, являющиеся строгими аутентичными и официально утвержденными переводами международных стандартов, носят обозначения этих международных организаций. Например, ГОСТ Р МЭК – официальный перевод стандарта МЭК, а ГОСТ Р ISO – официальный перевод стандарта ISO.

Причины “собственного отечественного пути” понятны и объяснимы, исходя из автономного, независимого и строго секретного пути развития отечественной атомной индустрии и энергетики, начиная с легендарных лет ее создания в годы “холодной войны” и вплоть до (80-х–90-х) годов прошлого столетия.

Следует отметить, что известная “перпендикулярность” ряда отечественных стандартов по сравнению с международными вовсе не означает априори какой-либо их “ущербности”. Более того, отдельные стандарты и представители отечественной НТД являются даже гораздо более завершенными как функционально, так и логически. Однако следует признать, что значительная часть системы отечественных стандартов представляет серьезные затруднения для экспорта Российских атомных технологий, включая АЭС, за рубеж.

Общее торможение и даже застой развития отечественной промышленности и технологии в (1980-е—1990-е) годы не могли не привести к торможению развития и совершенствования НТД, в том числе и в атомной отрасли. Но на условном “Западе” наблюдалось интенсивное развитие современных передовых цифровых компьютерных технологий, повлекшее за собой развитие и создание соответствующих этому новому уровню стандартов. Маркетинговые и мощные финансовые возможности крупнейших западных корпораций позволили им захватить большую долю международного “атомного” рынка, в том числе и в области стандартизации атомной отрасли.

Это вызвало серьезную обеспокоенность экспертов, научно-технической общественности и руководителей отечественной атомной отрасли, и Росстандарт создал Технический комитет ТК 322 “Атомная техника”, которому поручил разобраться с задачами развития стандартизации Российской атомной отрасли, важнейшей из которых является согласование с международной активностью в этой области, или “гармонизация Российских и международных стандартов”. Подкомитет ПК 7 “Автоматизированные системы управления технологическими процессами атомных станций» ТК 322 “Атомная техника” был создан и функционирует, в основном в качестве общественного органа поддержки в РФ разработки, внедрения и сопровождения международных стандартов (IEC (МЭК), ISO (ИСО), МАГАТЭ, IEEE и др.), а также отечественных стандартов и НТД, относящихся к тематике АСУ ТП АС.

СТАНДАРТЫ МЭК, IEEE И ТРЕБОВАНИЯ МАГАТЭ И NRC

Стандарты МЭК для электротехнических и электронных систем и оборудования важных для безопасности АЭС разрабатываются в подкомитете 45А “Контроль и управление на ядерных объектах” Технического комитета 45 (ТК 45) “Ядерное приборостроение”. Российские эксперты и специалисты принимают самое активное участие в работе ТК 45 практически с самого его возникновения, поэтому его стандарты получили в РФ всеобщее признание и распространение.

В 1981 г. было достигнуто официальное Соглашение о сотрудничестве между МАГАТЭ и Техническим комитетом ТК 45 МЭК “Ядерное приборостроение”, где, в частности, определено, что:

- МАГАТЭ является Международной организацией, ответственной за разработку принципов безопасности (в виде Руководств МАГАТЭ) при осуществлении контроля, управления и проектирования электротехнических и электронных систем и оборудования для атомных электростанций;

- Технический комитет ТК 45 МЭК является ответственным за разработку требований к проектированию, реализующих эти принципы в виде стандартов, разрабатываемых и корректируемых в подкомитете 45А; эти принципы конкретизируются в виде требований к системам контроля и управления (СКУ), важными для безопасности АЭС;

- ТК 45 приглашается к участию в разработке соответствующих руководств по безопасности МАГАТЭ, а МАГАТЭ приглашается к участию в заседаниях и практической деятельности ТК 45.

Содержание и степень “жесткости” (строгости) требований стандартов МЭК определяется конкретным видом оборудования и степенью его важности для безопасности. В свою очередь важность системы или оборудования для безопасности определяется важностью для безопасности тех функций, которые данное оборудование выполняет.

Важно отметить, что, благодаря широкому применению компьютерной техники, выполнение конкретной функции может быть распределено по нескольким системам, так же, как и конкретная система может быть задействована в выполнении нескольких функций, причем часто одна система выполняет функции, отличающиеся по степени безопасности. В этих условиях нельзя (по крайней мере, затруднительно) жестко связать систему и выполняемую ею функцию. Поэтому необходимо (или приходится) отдельно осуществлять категоризацию функций и классификацию систем по степени их важности для безопасности. Это обстоятельство приводит к дополнительным расхождениям между отечественными и международными стандартами и НТД, которые могут явиться еще одним фактором, инициирующим выполнение требований по гармонизации.

Таким образом, в серии стандартов, создаваемых в ПК 45А, последовательно реализуются и детализируются принципы и базовые аспекты безопасности, предусмотренные основными Правилами, Требованиями и Руководствами МАГАТЭ по безопасности атомных электростанций. Поэтому 5 Правил и Руководств МАГАТЭ (с официальными обозначениями SSR-2/1, SSR-2/2, SSG-30, SSG-39, SSG-54) следует отнести к документам высшего уровня иерархии по сравнению со стандартами МЭК.

Таблица 1. Классы безопасности в различных нормативных системах

Стандарт или РД	Классы по важности для безопасности					
ОПБ НП-001-15	Класс 4		Класс 3		Класс 2	Класс 1
МАГАТЭ SSR-2/1	Системы не важные для безопасности		Системы важные для безопасности			Нет
			Системы, связанные с безопасностью		Системы безопасности	
МЭК 61226	Вне классов	Класс С		Класс В	Класс А	Нет
IEEE 603	Не класс 1 Е				Класс 1 Е	Нет

В серии стандартов ПК 45А до 2020 г. единственным документом первого (наиболее высокого) уровня иерархии являлся стандарт МЭК 61513. В этом стандарте рассматриваются требования к системам контроля и управления, важным для безопасности АЭС, и он лежит в основе серии стандартов ПК 45А. В 2020 г. был принят еще один стандарт первого (наиболее высокого) уровня иерархии. Это стандарт МЭК 63046. В этом стандарте рассматриваются основные требования к электротехническим системам и системам электропитания, обеспечивающим системы контроля и управления, важные для безопасности АЭС, и он теперь также лежит в основе серии стандартов ПК 45А.

В двух обобщающих стандартах первого уровня МЭК 61513 и МЭК 63046 имеются непосредственные ссылки на другие стандарты ПК 45А, детализирующие и конкретизирующие такие общие вопросы как:

- категоризация функций и классификация I&С систем и электротехнических систем,
- оценка соответствия,
- разделение систем,
- защита от отказов по общей причине,
- аспекты программного обеспечения компьютерных систем,
- аспекты технического обеспечения компьютерных и электротехнических систем,
- проектирование пунктов управления и
- кибербезопасность.

Стандарты МЭК, на которые имеются непосредственные ссылки из стандартов МЭК 61513 и МЭК 63046, рекомендуется использовать совместно с этими стандартами в качестве согласованной подборки руководящих документов. Эти стандарты относятся ко второму уровню иерархии.

Прочие стандарты ПК 45А, на которые в стандартах МЭК 61513 и МЭК 63046 нет непосредственных ссылок, являются стандартами, связанными с конкретным оборудованием, техническими

методами или конкретной деятельностью. Обычно эти документы относятся к низшему (третьему) уровню. В них по общим вопросам имеются ссылки на документы более высокого уровня, которые могут использоваться самостоятельно.

Наконец, к четвертому уровню иерархии документов МЭК относятся технические отчеты (TR), которые не имеют нормативного характера.

По аналогии отметим, что в США иерархическая структура построения стандартов IEEE, таких, например, как [1, 2], подчиняется требованиям Регулятора США, а документ Регулирующей комиссии США (NRC) 10 CFR 50 [3] является высшим документом NRC в части требований к проектированию атомных станций и, в некотором смысле, аналогичен документу МАГАТЭ SSR-2/1.

В РФ нормативными правовыми документами высшего уровня являются Федеральные законы и Указы Президента РФ. За ними следуют такие подзаконные акты, как Постановления Правительства РФ и/или соответствующего Федерального ведомства в рамках своей компетенции и полномочий. Далее следуют Федеральные нормы и правила (ФНП), где наиболее важными для обеспечения безопасности при разработке, создании, эксплуатации и сопровождении АСУ ТП АЭС являются НП-001-15 и НП-026-16 [4, 5].

О РАЗЛИЧНЫХ КЛАССИФИКАЦИЯХ ОБОРУДОВАНИЯ АЭС

Сравнение различных классификаций оборудования АЭС (табл. 1) по степени его важности для безопасности проводилось для четырех систем по документам:

1. Российский документ НП-001-15 “Общие положения обеспечения безопасности атомных станций” [4].

2. Международный стандарт МЭК 61226-2020 “Атомные электростанции. Системы контроля и

управления, важные для безопасности. Классификация функций контроля и управления” [6].

3. Требования МАГАТЭ SSR-2/1: 2016 “Безопасность ядерных энергетических реакторов. Требования к проектированию”.

4. Стандарт IEEE 603-1998 “Критерии для систем безопасности атомных электростанций. Описание” [1].

Как следует из анализа, несмотря на определенную корреляцию классификации элементов, систем и выполняемых ими функций, нет однозначного соответствия между категориями стандарта МЭК 61226, Руководства МАГАТЭ SSR-2/1 и классами безопасности российского документа НП-001-15. Важно отметить, что российский документ охватывает все оборудование (электронное и неэлектронное), при этом к 1-му классу безопасности отнесены непосредственно твэлы и то оборудование, отказ которого может привести к запроектной аварии с разрушением твэлов. В отличие от российского документа, стандарт МЭК 61226 охватывает только электронное (и электротехническое) оборудование, поэтому категории, соответствующей российскому классу 1, в этом стандарте нет. Еще одно отличие заключается в том, что в российском документе классификация по безопасности дополнена классификацией по назначению (системы и элементы нормальной эксплуатации и системы и элементы безопасности) и классификацией по характеру выполняемых функций (защитные; локализирующие; обеспечивающие; управляющие).

В документе IEEE 603 [1] также имеется классификация электротехнического и электронного оборудования АС. В этой классификации предусмотрено только два класса безопасности: оборудование класса 1E и оборудование, не относящееся к данному классу. Класс 1E определяется как класс оборудования и систем, играющих существенную роль для аварийного останова реактора, изоляции контейнента (герметичной оболочки безопасности), для охлаждения активной зоны реактора и для отвода тепла от реактора и контейнента, а также предотвращающих значительные выбросы радиоактивных веществ в окружающую среду. В примечании к данному определению указано, что оно носит функциональный характер. Оборудование и системы относят к классу 1E только в том случае, если они выполняют функции, перечисленные в определении. Классификация, базирующаяся на каких-либо других основаниях — неправомерна.

ТРЕБОВАНИЯ К РАЗРАБОТКЕ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ АС

В отечественной нормативной базе, к сожалению, до сих пор нет руководящих документов,

устанавливающих общие требования к разработке систем безопасности АС, реализованных на базе компьютерной техники. Кроме того, даже общие требования к традиционным системам безопасности в Российских стандартах существенно отличаются от аналогичных требований международных стандартов.

Поэтому было выполнено сравнение критериев и требований по безопасности, изложенных в IEEE (стандарты Std 603-1998 и Std 7-4.3.2-1998 [1, 2]) с критериями и требованиями аналогичных российских стандартов и ФНП [4, 5, 7, 8].

Стандарт [8] содержит требования только к системам управления и защиты (СУЗ). Он был выпущен незадолго до Чернобыльской аварии и первоначально был основан на устаревшей версии [7]. Затем, после выпуска новой версии [8] этот стандарт был пересмотрен и во многом повторяет [7], но также содержит новые количественные требования к надежности СУЗ.

Проведенный анализ показал, что стандарты IEEE Std 603-1998 и IEEE Std 7-4.3.2-1998 являются хорошо структурированными и сбалансированными документами высшего уровня, в которых описаны основные критерии, а также общие функциональные и проектные требования к управляющей и измерительной частям систем безопасности всех типов.

К сожалению, для этих стандартов нет близких Российских аналогов, область применения и назначение которых полностью совпадала бы с областью применения и назначением стандартов IEEE, и в которых был бы реализован такой же системный и сбалансированный подход. В Российских стандартах часто не соблюдается принятая в международном сообществе терминология (определения системы защиты, квалификации оборудования, эксплуатационных байпасов и т.п.) и классификация. Например, классификация систем и категоризация функций по их важности для безопасности АЭС проводятся отдельно. Это — одна из причин, по которым гармонизация российских и международных стандартов является весьма непростой задачей.

В большинстве случаев критерии и требования, изложенные в IEEE Std 603-1998 и IEEE Std 7-4.3.2-1998, являются даже более строгими, чем в российских стандартах. Например: проведение защитных мероприятий; качество; независимость в отношении физического разделения и барьеров для каналов системы безопасности, и еще более 10 критериев.

Однако есть несколько важных случаев, когда требования российских стандартов являются более строгими, например:

— критерий единичного отказа (степень резервирования). Требования превышают простое применение критерия единичного отказа для системы

аварийной защиты: в соответствии с этим стандартом должно быть, как минимум, две независимых группы устройств защиты, каждая из которых должна содержать 3 независимых канала для защиты реактора по возрастанию нейтронной мощности и по скорости ее возрастания с логичной голосования, как минимум, 2 из 3 для каждой такой группы.

– надежность. В российских стандартах и ФНП приведены более детальные и строгие требования по вероятностной оценке безопасности с установлением допустимых вероятностей возможных инцидентов. Требуется проведение количественной оценки надежности СУЗ, причем отказ при выполнении функции аварийного останова – не более 10^{-5} , среднее время между отказами системы управления – не менее 105 ч, а среднее время ремонта – не более 1 ч.

НЕОТЛОЖНЫЕ ЗАДАЧИ ПО ГАРМОНИЗАЦИИ СТАНДАРТОВ

Анализ показал, что стандарты IEEE Std 603-1998 и IEEE Std 7-4.3.2-1998 можно рекомендовать как “ГОСТ Р IEEE” для адаптации в Российские системы НТД. Они являются более полными и непротиворечивыми для проектировщиков систем безопасности (и их программно-инструментальной части), чем существующие российские стандарты и ФНП.

Однако эта гармонизация не может быть осуществлена автоматически, без специальной экспертной оценки вновь разрабатываемых систем и стандартов безопасности. Возможны противоречия, разрешение которых потребует отступления от определенных устаревших требований и коррекции ряда документов ФНП.

Как отмечалось выше, к единственному документу ПК 45А первого (наиболее высокого) уровня иерархии МЭК 61513, недавно включенному в Российскую систему как ГОСТ Р МЭК 61513 [9], в 2020 г. был добавлен второй стандарт МЭК 63046 [10], который теперь также лежит в основе серии стандартов ПК 45А. Поэтому весьма актуальной становится и его адаптация как ГОСТ Р МЭК 63046.

В результате анализа была составлена сводная таблица стандартов МЭК, посвященных АСУ ТП АЭС, в которой даны основные характеристики этих стандартов, но из-за большого объема она будет представлена в отдельной публикации.

БЛАГОДАРНОСТЬ

При работе над анализом стандартов авторы получили важные рекомендации и технические материалы от ряда ведущих Российских экспертов. Особую признательность и благодарность авторы выражают секретарю Технического комитета 45 МЭК, главному специалисту АО “ВНИИАЭС” С.А. Шумову и председателю секции АСУ НТС № 1 Госкорпорации “Росатом”, руководителю направления АО “РАСУ” В.П. Сивоконю.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ/REFERENCES

1. IEEE Standard 603-1998 “Criteria for Safety Systems of Nuclear Power Plants. Description”.
2. IEEE Standard 7-4.3.2-1993 “Criteria for Digital Computers in Nuclear Power Plant Safety Systems”.
3. Nuclear Regulatory Commission 10 CFR 50: General Criteria for the Design of Nuclear Power Plants.
4. Federal norms and rules NP-001-15: General Provisions for Ensuring the Safety of Nuclear Power Plants.
5. Federal norms and rules NP-026-16: Requirements for Control Systems Important for the Safety of Nuclear Power Plants.
6. IEC 61226 ed. 4: 2020. “Nuclear Power Plants. Monitoring and Control Systems and Electrical Systems Important to Safety. Categorization of the Control and Management Function”.
7. Federal Norms and Rules NP-087-07: Nuclear Safety Rules for Reactor Installations of Nuclear Power Plants.
8. GOST 26843–86 “Nuclear Power Reactors. General Requirements for the Control and Protection System”.
9. IEC 61513 ed. 2: 2011, GOST R IEC 61513: 2020. “Nuclear Power Plants. Control and Management Systems Important to Safety. General Requirements”.
10. IEC 63046: 2020. “Nuclear Power Plants. Control, Management and Electrical Equipment Important to Safety. General Requirements for Electrical Systems”.

Systems of Regulatory Documents Governing the Development and Implementation of Digital Monitoring and Control Systems for Nuclear Plants

I. D. Rakitin¹, * and S. B. Chebyshev¹

¹JSC “Specialized Research Institute of Instrument Engineering”, Moscow, 123060 Russia

*e-mail: igor.rakitin@gmail.com

Received July 11, 2022; revised July 11, 2022; accepted July 18, 2022

Abstract—Compliance analysis of domestic and main international systems of standards, scientific and technical documentation and manuals on digital control and monitoring systems of nuclear power plants (NPP), including documents of the International Electrotechnical Commission (IEC), the International Atomic En-

ergy Agency (IAEA), the Nuclear Regulatory Commission (NRC) USA, the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) USA, etc. Recommendations are formulated on the nomenclature and content of normative and methodological standardization documents developed in the Russian nuclear industry, as well as on their harmonization with international systems and documents.

Keywords: standards systems, International Electrotechnical Commission (IEC), International Atomic Energy Agency (IAEA), regulatory and technical documentation, development, digital monitoring and control systems, nuclear power plants (NPPs)