ВАО АЭС

Московский Центр

Годовой отчёт по анализу эффективности работы АЭС Московского регионального центра ВАО АЭС.

Программа

«Показатели эффективности работы ВАО АЭС»,

4 квартал 2017 г.

МОСКВА

Март 2018 г.

Предупреждение о конфиденциальности: Авторское право 2018 года принадлежит Всемирной ассоциации организаций, эксплуатирующих атомные электростанции (ВАО АЭС). Авторские права защищены. Не для продажи. Данный документ защищен как неопубликованный произведение по законам об авторских правах стран, подписавших Бернскую конвенцию и Конвенцию об общих авторских правах. Воспроизводство без разрешения является нарушением соответствующего закона. Перевод разрешается. Все копии отчетов также являются неотъемлемой собственностью ВАО АЭС. Данный документ и его содержание являются конфиденциальными и должны храниться в строгой тайне. В частности, без обоюдного согласия как члена ВАО АЭС, так и Совета управляющих Московского центра данный документ не может быть передан или направлен третьим лицам, и его содержание не должно стать достоянием третьей стороны или общественности, если, конечно, информация не стала доступной какими-либо другими путями, а не вследствие нарушения данных обязательств о конфиденциальности. Кроме того, рассылка данного документа должна быть ограничена лишь теми лицами в организациях-членах ВАО АЭС, которых необходимо информировать о содержании этого документа".

Содержание

ПЕРЕЧЕНЬ АББРЕВИАТУР 5
ВВЕДЕНИЕ 6
1. ОБЩИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВАО АЭС – МЦ ЗА 2017 ГОД 8
2. ВЫПОЛНЕНИЕ ДОЛГОСРОЧНЫХ ЦЕЛЕЙ ПО КЛЮЧЕВЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ ВАО АЭС 10
3. РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ИНДЕКСА ВАО АЭС 19
3.1. Общие данные по анализу индекса ВАО АЭС 19
3.2. Анализ значений индекс ВАО АЭС для всех АЭС Московского центра ВАО АЭС 24
АРМЯНСКАЯ АЭС 24
БАЛАКОВСКАЯ АЭС 25
БИЛИБИНСКАЯ АЭС 26
КАЛИНИНСКАЯ АЭС 27
КОЛЬСКАЯ АЭС 28
НОВОВОРОНЕЖСКАЯ АЭС 29
РОСТОВСКАЯ АЭС 29
ЛЕНИНГРАДСКАЯ АЭС 30
СМОЛЕНСКАЯ АЭС 31
КУРСКАЯ АЭС 32
ЗАПОРОЖСКАЯ АЭС 33
ЮЖНО-УКРАИНСКАЯ АЭС 34
РОВЕНСКАЯ АЭС 35
ХМЕЛЬНИЦКАЯ АЭС 36
АЭС МОХОВЦЕ 36
АЭС БОГУНИЦЕ 37
АЭС ТЕМЕЛИН 38
АЭС ДУКОВАНЫ 38
АЭС ЛОВИИСА 39
АЭС КОЗЛОДУЙ 40
АЭС ТЯНЬВАНЬ 41
АЭС КУДАНКУЛАМ 41
АЭС БУШЕР 42
АЭС ПАКШ 43
4. ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ АЭС 44
4.1 Анализ производственных показателей ВАО АЭС по эффективности энерговыработки 44
4.2 Обзор всех производственных показателей ВАО АЭС 59
4.3 UCF – Коэффициент готовности энергоблока 59
4.4 UCLF – Коэффициент неготовности энергоблока 60
4.5 FLR – Коэффициент вынужденных потерь электроэнергии 61

4.6 UA7 и US7 - Неплановые автоматические аварийные остановы реактора на 7000 часов критического состояния и неплановые аварийные остановы реактора в критическом состоянии на 7000 часов (автоматическое + ручное) 61

4.7 GRLF - Коэффициент недовыработки по причинам, связанным с работой энергосистемы 62

4.8 Работоспособность систем безопасности: САОЗ ВД (SP1), систем аварийной питательной воды (SP2), аварийного энергоснабжения (SP5) 63

4.9 CRE – Коллективная доза радиационного облучения персонала 65

4.10 FRI – Показатель надёжности ядерного топлива 67

4.11 CPI – Химический показатель 68

4.12 Общий показатель потерь рабочего времени в результате несчастных случаев персонала (TISA2), для станционного персонала (ISA2) и для персонала подрядных организаций (CISA2) 68

5. РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММЫ «ПЭР ВАО АЭС» В ВАО АЭС – МЦ В 2017 Г. 70

5.1 Задача программы ПЭР ВАО АЭС 70

5.2 Внутренние программные показатели (метрики) 70

5.3 Состояние по выполнению запланированных на 2017 год мероприятий 71

ПРИЛОЖЕНИЕ 1: ГРАФИКИ ПЭР ВАО АЭС В 4-М КВАРТАЛЕ 2017 Г. 75

Перечень аббревиатур

ALARA – концепция оптимизации уровней облучения «As Low As Reasonably Achievable» - «настолько низко, насколько разумно достижимо»
DES – Data Entry System – система ввода данных
PWR – реактор с водой под давлением
АЗ – аварийная защита
АС/АЦ – Атлантский центр
АЭС – атомная электростанция
БН – реактор на быстрых нейтронах
ВАО АЭС – Всемирная ассоциация организаций, эксплуатирующих атомные электростанции
ВАО АЭС – МЦ – Московский центр ВАО АЭС
ВВЭР – водо – водяной энергетический реактор
ВХР – водно – химический режим
ДГ – дизель – генератор
МАГАТЭ – Международное агентство по атомной энергии
МС/МЦ – Московский центр
МТП – миссия технической поддержки
НС – несчастный случай
ОЭ – опыт эксплуатации
ПИПП – проектно – информированная партнёрская проверка
ПП – партнёрская проверка
ПЭР – показатели эффективности работы
РБМК –реактор большой мощности канальный
РС/ПЦ – Парижский центр
РУ – реакторная установка
РЦ – региональный центр
САОЗ ВД – система охлаждения активной зоны реактора высокого давления
СБ – система безопасности
ТПиО – техническая поддержка и обмен
ТС/ТЦ – Токийский центр
ЭГП – энергетический гетерогенный петлевой реактор

Введение

Выбор показателей эффективности работы АЭС определялся необходимостью обеспечения количественной оценки работы АЭС в области ядерной безопасности и надёжности АЭС, производительности АЭС, а также безопасности персонала. Данные показатели, в основном, предназначаются для использования эксплуатирующими организациями с целью контроля работы и развития АЭС, постановки задач в областях для улучшения, получения возможности сравнительного анализа с другими станциями, а также получения картины симптомов, указывающих на возможную необходимость корректировки приоритетов и ресурсов для обеспечения более качественной работы по всем направлениям. Показатели эффективности ВАО АЭС предназначаются для поддержки обмена информацией в области опыта эксплуатации и обеспечения последовательного сравнения работы АЭС. Считается, что показатели эффективности ВАО АЭС будут стимулировать стремление превзойти показатели лучших предприятий отрасли и обеспечат мотивацию к идентификации и обмену хорошей практикой в области эксплуатации атомных электростанций.

Текущий отчет основан на рассмотрении показателей эффективности работы (ПЭР) ВАО АЭС для блоков / станций, а также исходных данных, получаемых от АЭС в базу данных ВАО АЭС – DES. Рассматриваемые ПЭР:

- **UCF** - коэффициент готовности энергоблока;
- **UCLF** - коэффициент неготовности энергоблока, связанный с неплановой недовыработкой;
- **FLR** - коэффициент вынужденных потерь электроэнергии;
- **GRLF** - коэффициент недовыработки по причинам, связанным с работой энергосистемы;
- **UA7** - неплановые автоматические аварийные остановы реактора на 7000 часов работы блока в критическом состоянии;
- **US7** - неплановые аварийные остановы реактора на 7000 часов работы блока в критическом состоянии;
- **SSPI** - работоспособность систем безопасности;
- **FRI** - показатель надёжности ядерного топлива;
- **CRE** - показатель коллективной дозы радиационного облучения персонала;
- **CPI** - химический показатель;
- **ISA2** - показатель потерь рабочего времени в результате несчастных случаев станционного персонала;
- **CISA2** - показатель потерь рабочего времени в результате несчастных случаев персонала подрядных организаций;
- **TISA2** - общий показатель потерь рабочего времени персонала (станционный и подрядных организаций) в результате несчастных случаев персонала.

В отчете приводятся значения ПЭР ВАО АЭС на конец 2017 года (2017Q4). Все значения имеют 36 месячный расчетный цикл, за исключением данных по надёжности ядерного

топлива **FRI** (12 месячный период). Аналитическая информация представлена в 5-ти основных разделах и приложении.

В **разделе 1** приведены общие производственные данные по всем АЭС Московского центра ВАО АЭС за 2017 год.

В **разделе 2** показано текущее состояние (на конец 2017 года) по достижению долгосрочных целей по ключевым показателям ВАО АЭС. На графиках отражены тенденции по достижению долгосрочных целей (индивидуальной и отраслевой) на протяжении всего учетного периода. Приведены данные как для ВАО АЭС – МЦ, так и для остальных региональных центров.

В **разделе 3** приведены результаты анализа индекса ВАО АЭС. Также приводятся общие рекомендации для всех АЭС Московского центра ВАО АЭС.

В **разделе 4** представлен полный анализ всех ПЭР ВАО АЭС для Московского центра ВАО АЭС. Приведены данные по динамике изменений медианных значений и значений границ худшего квартиля для ПЭР ВАО АЭС по МЦ. Приводится тематический подробный анализ по группе показателей, ответственных за мониторинг энерговыработки АЭС.

В **разделе 5** представлен отчетный материал по реализации программы «ПЭР ВАО АЭС» в ВАО АЭС – МЦ за 2017 год.

В **приложении 1** приведены гистограммы по всем ПЭР ВАО АЭС для Московского центра по состоянию на 4-й квартал 2017 года.

1. Общие производственные показатели ВАО АЭС – МЦ за 2017 год

На конец 2017 года в базе данных по показателям эффективности работы ВАО АЭС в Московском региональном центре состояло 74 блока (2 новых блока: Белоярская АЭС 4 и Нововоронежская АЭС 2-1), которые принадлежат 25 АЭС. Также в 2017 году в базу данных были добавлены 5 судов ФГУП «Атомфлот. Распределение этих блоков, в зависимости от типа реакторной установки, следующее:

ВВЭР-1000 – 33;
ВВЭР-1200 – 1;
ВВЭР-440 – 23;
РБМК-1000 – 11;
ЭГП-6 – 4;
БН-600 – 1;
БН-800 – 1;
Атомфлот – 5 судов.

В **таблице 1** приведены общие данные по ВАО АЭС – МЦ за 2017 год, основанные на данных, передаваемых со стороны АЭС в базу данных программы «Показатели эффективности работы ВАО АЭС».

Таблица 1

№ п/п	Параметр	Единицы измерения	Величина
1	Установленная мощность* **	ГВт	58,913
2	Общая потенциальная энерговыработка	ТВт*ч	506,7
3	Общая фактическая энерговыработка	ТВт*ч	409,9
4	Плановые потери электроэнергии	ТВт*ч	82,0
5	Потери энерговыработки из-за продления сроков ремонтов	ТВт*ч	1,6
6	Вынужденные потери электроэнергии	ТВт*ч	13,3
7	Потери электроэнергии вследствие отказов в энергосистеме	ТВт*ч	0,025
8	Число автоматических срабатываний АЗ	шт.	9
9	Число срабатываний АЗ в ручном режиме	шт.	3
10	Плановые часы неготовности оборудования СБ	час	18879
11	Неплановые часы неготовности оборудования СБ	час	3289

№ п/п	Параметр	Единицы измерения	Величина
12	Часы неготовности оборудования СБ вследствие скрытого отказа	час	2228
13	Величина общего внешнего радиационного облучения персонала	чел*Зв	60,13
14	Величина общего внутреннего радиационного облучения персонала	чел*Зв	0,113
15	Общая величина коллективной дозы радиационного облучения персонала	чел*Зв	60,24
16	Число НС, связанных с потерей рабочего времени	шт.	6
17	Число НС, связанных с ограничением способности к выполнению прежней работы	шт.	41
18	Число смертельных случаев на производстве	шт.	1

*** значение установленной мощности является несколько заниженной величиной ввиду того, что на ряде блоков были выполнены работы по повышению установленной мощности, но передача данных в систему DES осуществляется на основе первоначальных проектных величин**

**** без учета установленной мощности РУ на 5-ти судах ФГУП «Атомфлот»**

2. Выполнение долгосрочных целей по ключевым показателям ВАО АЭС

В этом разделе отчета рассмотрено текущее состояние по выполнению долгосрочных целей (индивидуальной и отраслевой) для ключевых показателей ВАО АЭС. Представлены результаты как по состоянию на конец 2017 года, так и общие данные по региональному Московскому центру ВАО АЭС за весь учетный период.

Под **индивидуальной целью** для ПЭР ВАО АЭС понимаются значения, выбранные для мониторинга отдельных блоков/станций, с целью отслеживания улучшения производственной деятельности. Под **отраслевой целью** – значения для полноценного мониторинга всей мировой атомной отрасли и для анализа отдельного вклада со стороны отдельно выбранной АЭС.

Следование/выполнение целевых значений не является жесткой самоцелью с высокой степенью приоритетности и с которой связаны жесткие обязательства, но в большей степени это цель, которая позволяет отдельным эксплуатирующим организациям выявлять недостатки и определять действия для их устранения.

Эти значения помогают выявить «станции, нуждающиеся в помощи», проанализировать тенденции в каждом региональном центре и во всем мире, чтобы дать направление координированным программам в поддержку стремления к совершенству.

Индивидуальная цель: принятое целевое значение означает, что все 100% блоков отрасли будут иметь значения ключевых показателей лучше, чем значения худшего квартиля для них в 2007 году.

Отраслевая цель: принятое целевое значение означает, что 75% блоков отрасли должны иметь значение ключевых показателей лучше, чем достигало 50% блоков отрасли в 2007 году. Это будет свидетельствовать о улучшении общих показателей эффективности работы дополнительно для четверти блоков отрасли**.**

Рассматриваются следующие ключевые (целевые) показатели:

FLR – коэффициент вынужденных потерь электроэнергии;
SSPI – показатель работоспособности систем безопасности, включающий рассмотрение следующих систем безопасности: система аварийного охлаждения активной зоны высокого давления (**SP1**), система аварийной питательной воды (**SP2**) и система аварийного электроснабжения (ДГ) (**SP5**);
US7 – неплановые остановы реактора в критическом состоянии;
CRE – коллективная доза радиационного облучения персонала;
TISA2 – общий показатель потерь рабочего времени в результате несчастных случаев.

В **таблице 2** приведены граничные критерии для ключевых ПЭР в части достижения долгосрочных целей, установленных до 2020 года.

Таблица 2

Показатель	Единицы измерения	Индивидуальная цель	Отраслевая цель
Коэффициент вынужденных потерь электроэнергии (FLR)	процент	5.0	2.0
Коллективная доза радиационного облучения персонала (CRE)	человек*Зиверт	ВВЭР: 0.9 РБМК: 3.2	ВВЭР: 0.7 РБМК: 2.4
Работоспособность систем безопасности (SSPI)	число	SP1 и SP2: 0.020 SP5: 0.025	100% блоков в мире достигают индивидуальную цель
Неплановые срабатывания аварийной защиты реактора в критическом состоянии на 7000 часов (US7)	число	1.0	0.5
Общий показатель потерь рабочего времени в результате несчастных случаев (TISA)	величина, отнесенная к 200000 отработанных часов	0.5	0.2

В **таблицах 3** и **4** приведены данные по ВАО АЭС – МЦ в части текущего состояния по достижению долгосрочных целей (индивидуальной и отраслевой, соответственно) на конец 2017 года.

На **рис. 1** и **2** приведено сравнение по количеству блоков АЭС региональных центров (выраженное в процентной величине), достигающих выполнения долгосрочных целей на конец 2017 года.

Таблица 3

Московский Центр ВАО АЭС, 17Q4			
достижение индивидуальной цели			
Целевой показатель	**Кол-во блоков/АЭС, принятых в расчет**	**Кол-во блоков/АЭС, достигающих цель**	**% блоков/АЭС в региональном центре достигающих цель**
FLR (коэффициент вынужденных потерь)	**71**	**61**	**85,9%**
CRE (коллективная доза радиационного облучения персонала)	**70**	**64**	**91,4%**
TISA (потери рабочего времени в результате несчастных случаев)	**25**	**24**	**96%**
US7 (неплановые остановы реактора в критическом состоянии)	**70**	**68**	**97,1%**
SSPI (работоспособность систем безопасности)	**165**	**161**	**97,6%**

Таблица 4

Московский Центр ВАО АЭС, 17Q4			
достижение отраслевой цели			
Целевой показатель	**Кол-во блоков/АЭС, принятых в расчет**	**Кол-во блоков/АЭС, достигающих цель**	**% блоков/АЭС в региональном центре достигающих цель**
FLR (коэффициент вынужденных потерь)	**71**	**45**	**63,4%**
CRE (коллективная доза радиационного облучения персонала)	**70**	**50**	**71,4%**
TISA (потери рабочего времени в результате несчастных случаев)	**25**	**20**	**80%**
US7 (неплановые остановы реактора в критическом состоянии)	**70**	**58**	**82,9%**
SSPI (работоспособность систем безопасности)	**165**	**66**	**94,3%**

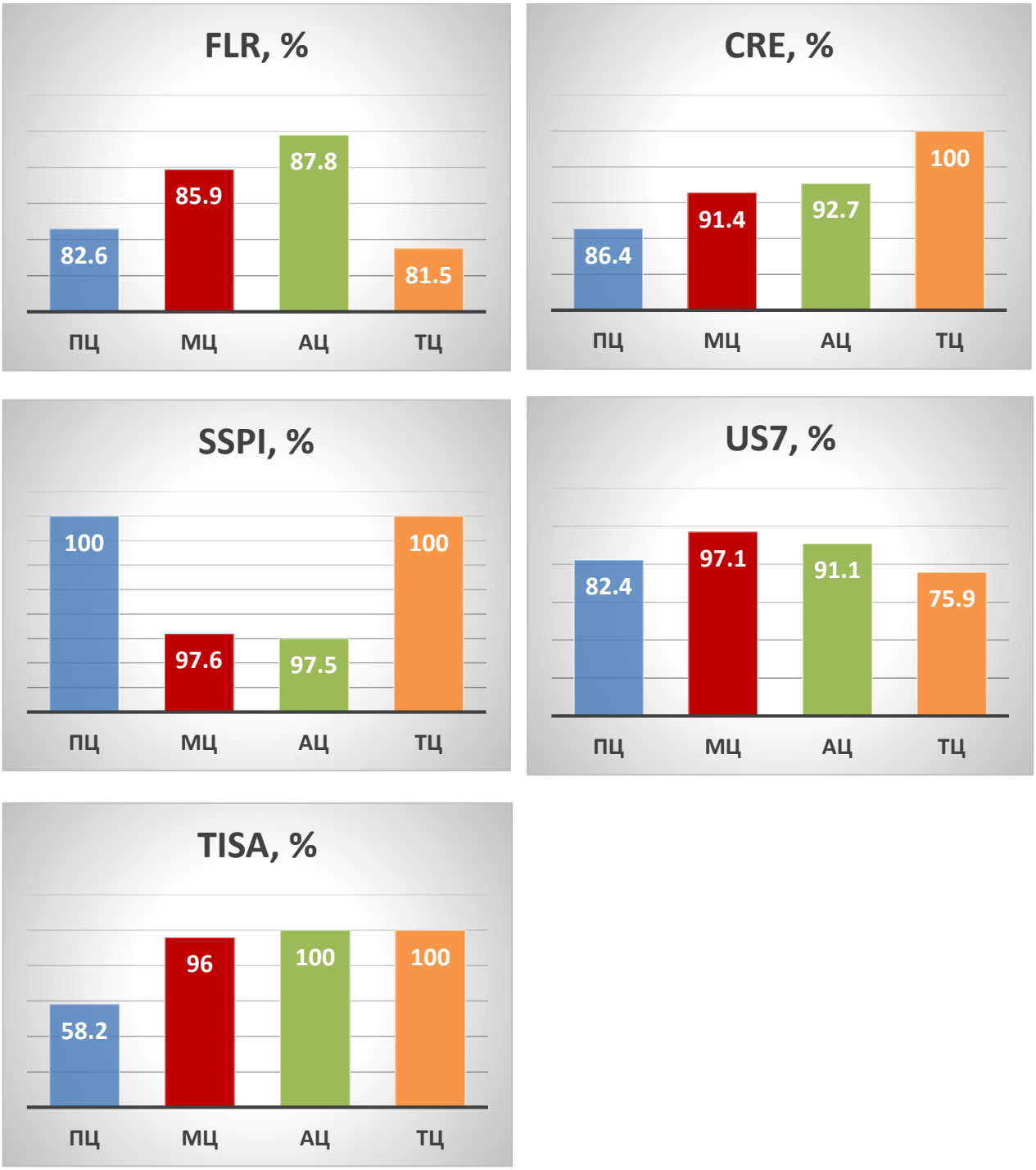
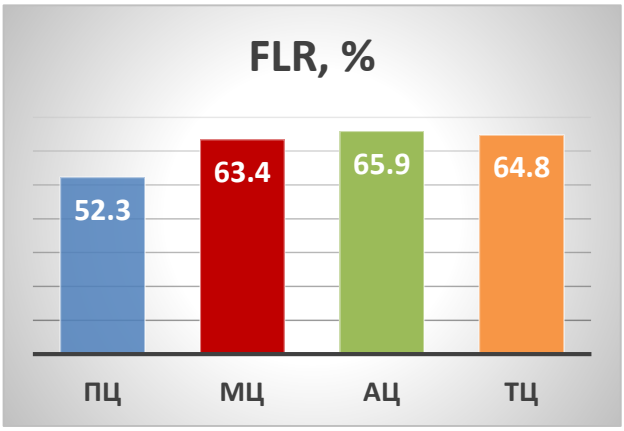
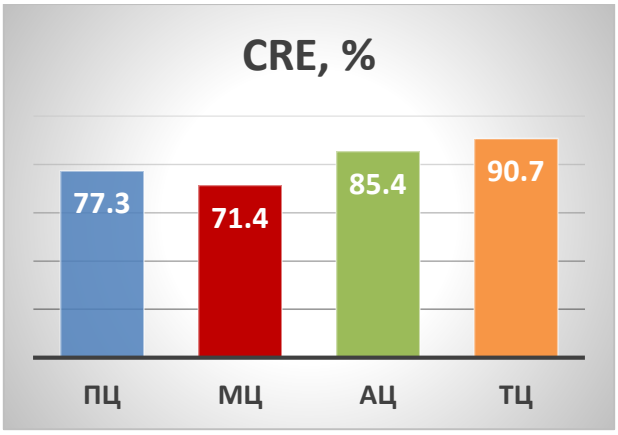
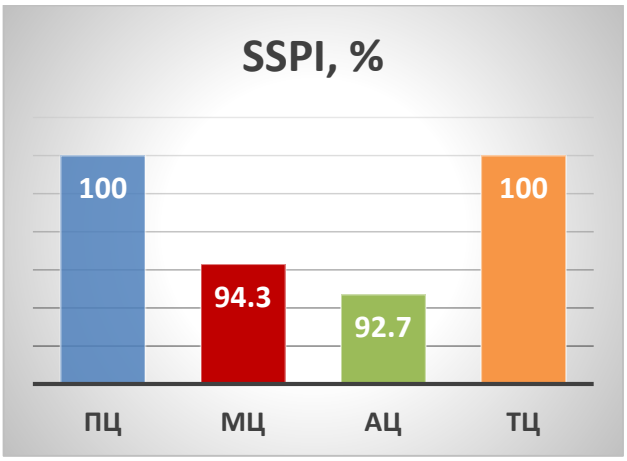
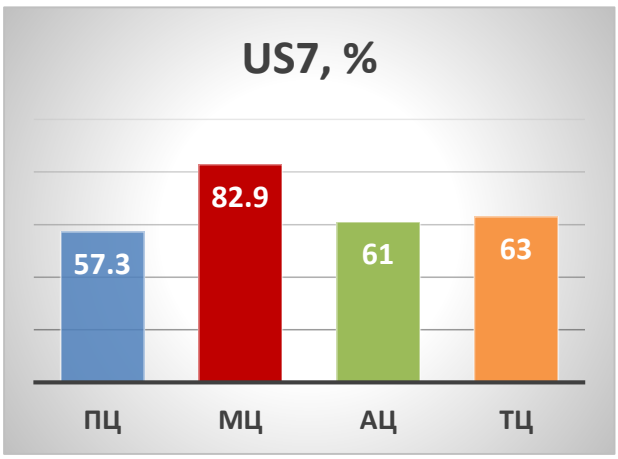


Рис.1 Процентное отношение количества блоков / станций, достигающих выполнения индивидуальных целей для ключевых показателей по Региональным центрам ВАО АЭС на конец 2017 года









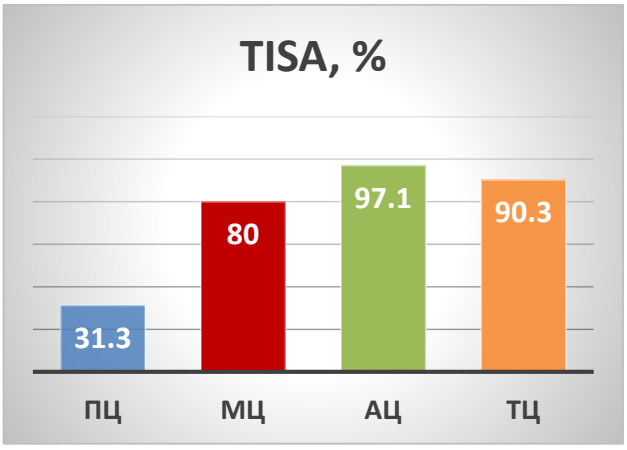


Рис.2 Процентное отношение количества блоков / станций, достигающих выполнения отраслевых целей для ключевых показателей по Региональным центрам ВАО АЭС на конец 2017 года

На **рис. 3 ÷ 5** приведены сравнительные тренды по достижению долгосрочных целей для ключевых ПЭР по ВАО АЭС – МЦ на протяжении всей истории существования понятия «долгосрочная цель» (с 2007 по 2017 года).

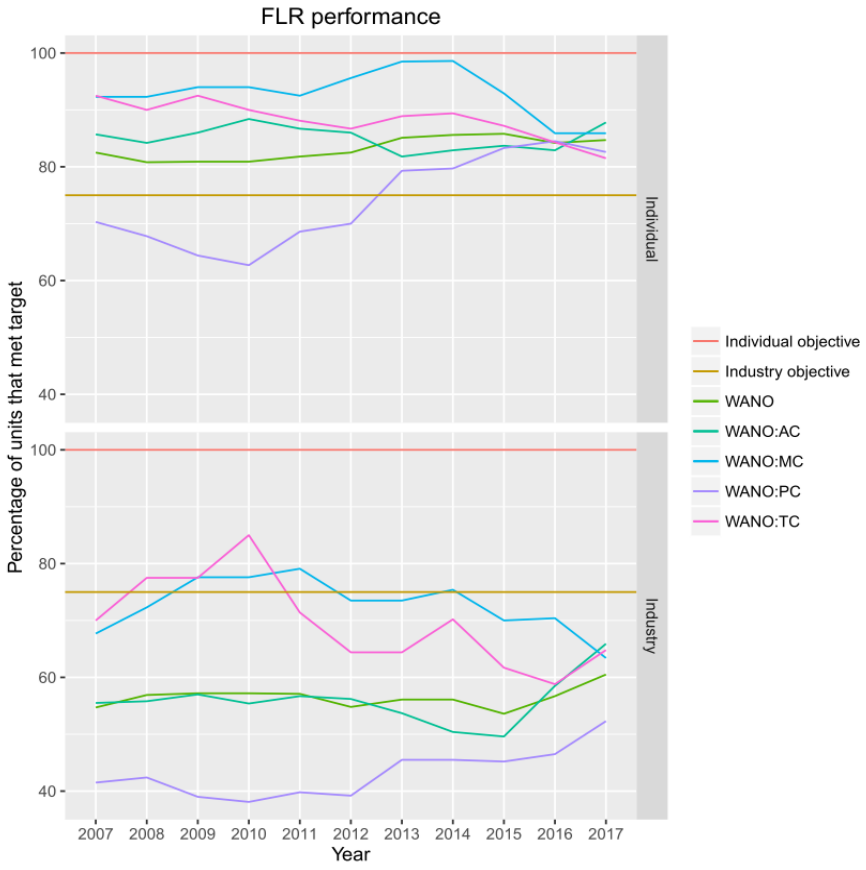
Ключевые показатели комплексно охватывают все основные аспекты эксплуатации. Эти показатели, для которых установлены целевые значения, служат для АЭС, своего рода, указателем движения в части улучшения производственной деятельности.

По сравнению с данными на конец 2016 года ситуация по достижению индивидуальной цели по ВАО АЭС – МЦ несколько ухудшилась для показателей коэффициент вынужденных отказов оборудования (**FLR**) и показателю состояния техники безопасности среди персонала как станционного, та и подрядных организаций (**TISA)** Значения снизились на величину 1,2% и 1% соответственно. Для показателей неплановых срабатываний АЗ (**US7**) и работоспособности СБ (**SSPI**) ситуация практически не изменилась (сдвиг в положительную область в пределах 0,1%). И по показателю коллективной дозы радиационного облучения персонала (**CRE**) наблюдается существенный положительный тренд величиной 3%.

В части достижения отраслевой цели по ВАО АЭС – МЦ ситуация несколько иная. По 3-м показателям (**FLR**, **CRE** и **SSPI**) наблюдается негативный тренд по отношению к прошлому году в части способствования достижения отраслевой цели с отклонением от 8% (**FLR**) до 1,5% (**CRE**) соответственно. И по оставшимся двум показателям наблюдается незначительный положительный тренд.

Причиной в различных данных по достижению целевых значений ВАО АЭС возможно является достижение некоторой стабильности на определенном уровне (индивидуальная цель) и в недостаточной реализации мероприятий по достижению новых более амбициозных целей по совершенствованию производственной деятельности (отраслевая цель).

Более подробное рассмотрение ПЭР приводится в разделе 4.



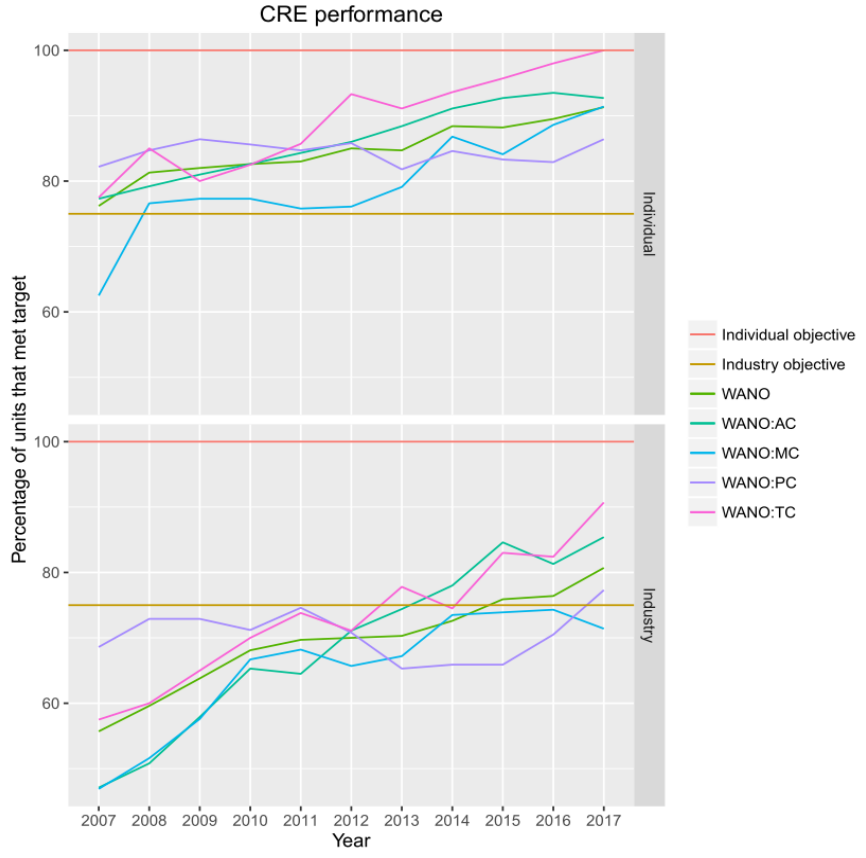
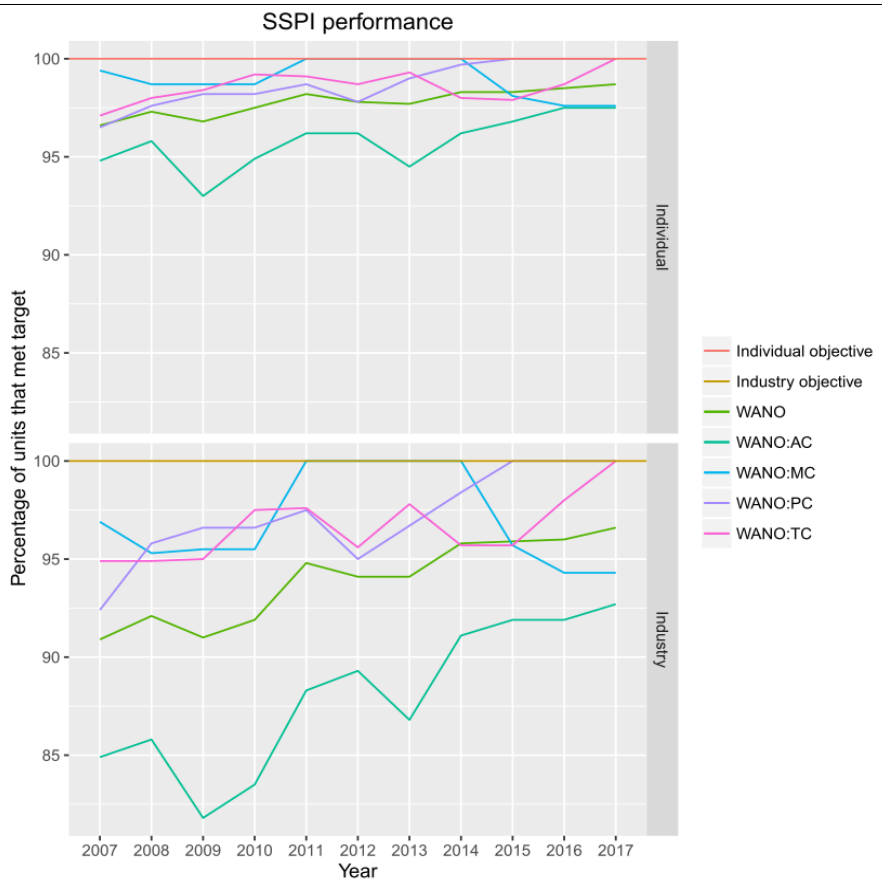


Рис. 3 Тренды по выполнению индивидуальной и отраслевой целей для ключевых показателей по региональным центрам ВАО АЭС за весь учетный период (2007 – 2017 года) – показатели **FLR**, **CRE**



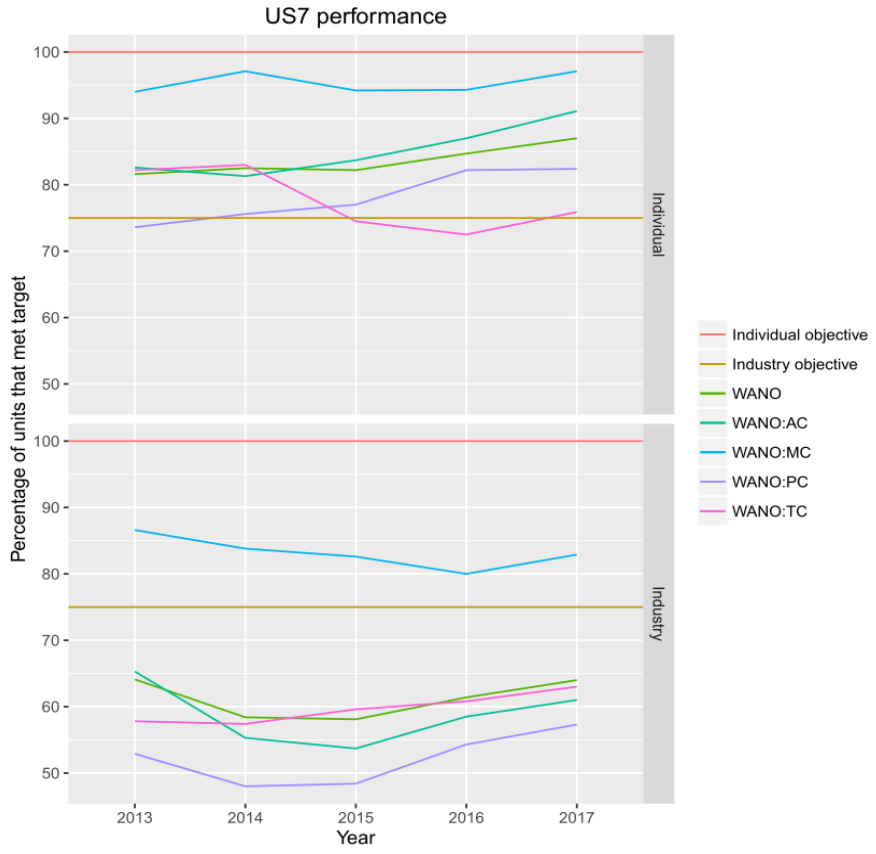


Рис. 4 Тренды по выполнению индивидуальной и отраслевой целей для ключевых показателей по региональным центрам ВАО АЭС за весь учетный период (2007 – 2017 года) – показатели **SSPI**, **US7**

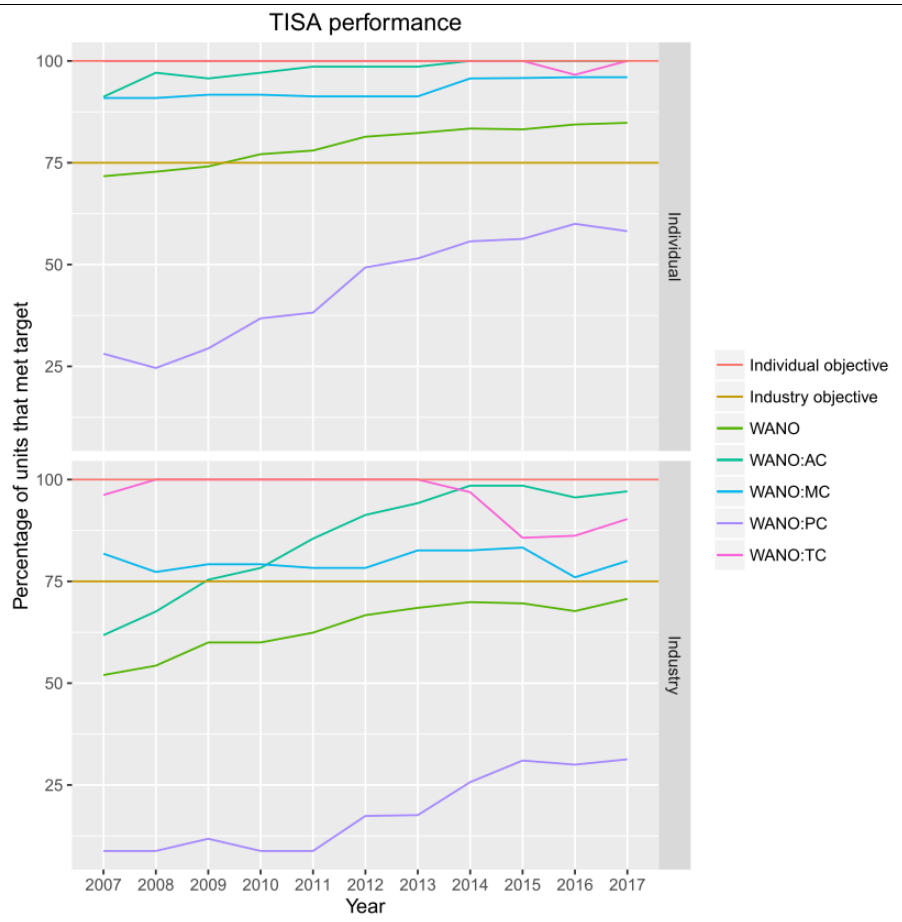


Рис. 5 Тренды по выполнению индивидуальной и отраслевой целей для ключевых показателей по региональным центрам ВАО АЭС за весь учетный период (2007 – 2017 года) – показатель **TISA**

3. Результаты анализа индекса ВАО АЭС

3.1. Общие данные по анализу индекса ВАО АЭС

Для комплексной оценки уровня эксплуатационной безопасности в ВАО АЭС был разработан обобщенный показатель эффективности работы АЭС – **индекс ВАО АЭС**, который является важным показателем для анализа тенденций и сравнения работы станций. Он является, своего рода, экспресс-показателем текущего состояния производственной безопасности на АЭС и позволяет выявить основные эксплуатационные области для детального мониторинга.

Его значение рассчитывается на основе множественных входных данных (10 основных показателей эффективности работы ВАО АЭС) и указывается как обобщенный индекс. В **таблице 5** приведены учитываемые в индексе ВАО АЭС показатели и их основные расчетные критерии (расчетный цикл, весовые коэффициенты). Индекс рассчитывается для индивидуального блока/станции, организации и может иметь максимальное значение в 100 баллов (высшее число обозначает лучшую работу).

Таблица 5

Показатель работы	Период	Весовой коэффициент	Максимальные баллы
CRE, коллективная доза радиационного облучения персонала	24	0.10	10
CPI, химический показатель	24	0.05	5
FLR, коэффициент вынужденных потерь энергии	24	0.15	15
FRI, надежность ядерного топлива	12	0.10	10
ISA2, показатель потерь рабочего времени в результате несчастных случаев (на 200,000 рабочих часов)	24	0.05	5
SP1, работоспособность систем безопасности	36	0.10	10
SP2, работоспособность систем безопасности	36	0.10	10
SP5, работоспособность систем безопасности	36	0.10	10
UA7, неплановые аварийные остановы реактора	24	0.10	10
UCF, коэффициент готовности энергоблока	24	0.15	15
Общие весовые баллы			**100**
Общие нормированные баллы			**100**

В дополнении к использованию единичной величины как общей характеристики, индекс также может обеспечивать оценку специфических областей производства, которые могут быть улучшены путем привлечения внимания или фокуса. Для оценки деятельности ВАО АЭС и ее членов, обобщенный индекс показателей работы, часто называемый просто как «индекс», рассчитывается для блоков внутри ВАО АЭС.

На **рис. 6** представлены значения индекса ВАО АЭС по региональным центрам на конец 2017 года, а на графиках **рис. 7** показано изменение значений индекса ВАО АЭС среди региональных центров за 5-ти летний период.

При сравнении медианного значения индекса ВАО АЭС для Московского центра с подобными значениями для остальных региональных центров, стоит отметить, что его значение находится на третьем месте после АЦ и ТЦ. Методологические подходы ВАО АЭС не позволяют делать комплексное сравнение значений индекса в силу распределения различных реакторов по региональным центрам. Но при этом все-таки есть возможность отследить и сравнить динамику изменений его значений за определенный период. Начиная с середины 2014 года, наблюдается небольшая, но постоянная тенденция к снижению величины индекса ВАО АЭС для Московского центра. При таком темпе изменения величины индекса для ВАО АЭС – МЦ его значение достигнет величины 5-ти летней давности в начале 2018 года, что может свидетельствовать о снижении уровня эксплуатационной безопасности на АЭС Московского центра или о существенных недовыработках по различным причинам.

На **рис.8** представлены медианные значения индекса ВАО АЭС для организаций – членов ВАО АЭС – МЦ.

На **рис. 9** более подробно указаны величины индекса ВАО АЭС для всех блоков Московского центра, учитываемых в базе данных показателей эффективности работы (за исключением блоков Белоярской АЭС, которые не входят в расчет индекса). На этой гистограмме квартильные значения выделены цветом для лучшей визуализации. Лучший квартиль (зеленый цвет) имеет значения в диапазоне от 94,1 до 100 баллов. На конец 2017 года только **3** блока ВАО АЭС – МЦ достигают максимальной величины индекса. Особенность отображения статистической информации с квартильным распределением всегда будет определять объекты с лучшими и худшими результатами. Для фактической оценки безопасности эксплуатации АЭС рекомендуется выполнять индивидуальный анализ с выявлением принадлежности блоков к определенному квартилю в течение определенного времени.

Особенностью программы «Показатели эффективности работы ВАО АЭС» является то, что блоки АЭС попадают в базу данных только при вводе в промышленную эксплуатацию. Это, в свою очередь, отражается на расчетной величине индекса ВАО АЭС, где используются данные с различными расчетными циклами (от 18 до 36-ти месяцев).

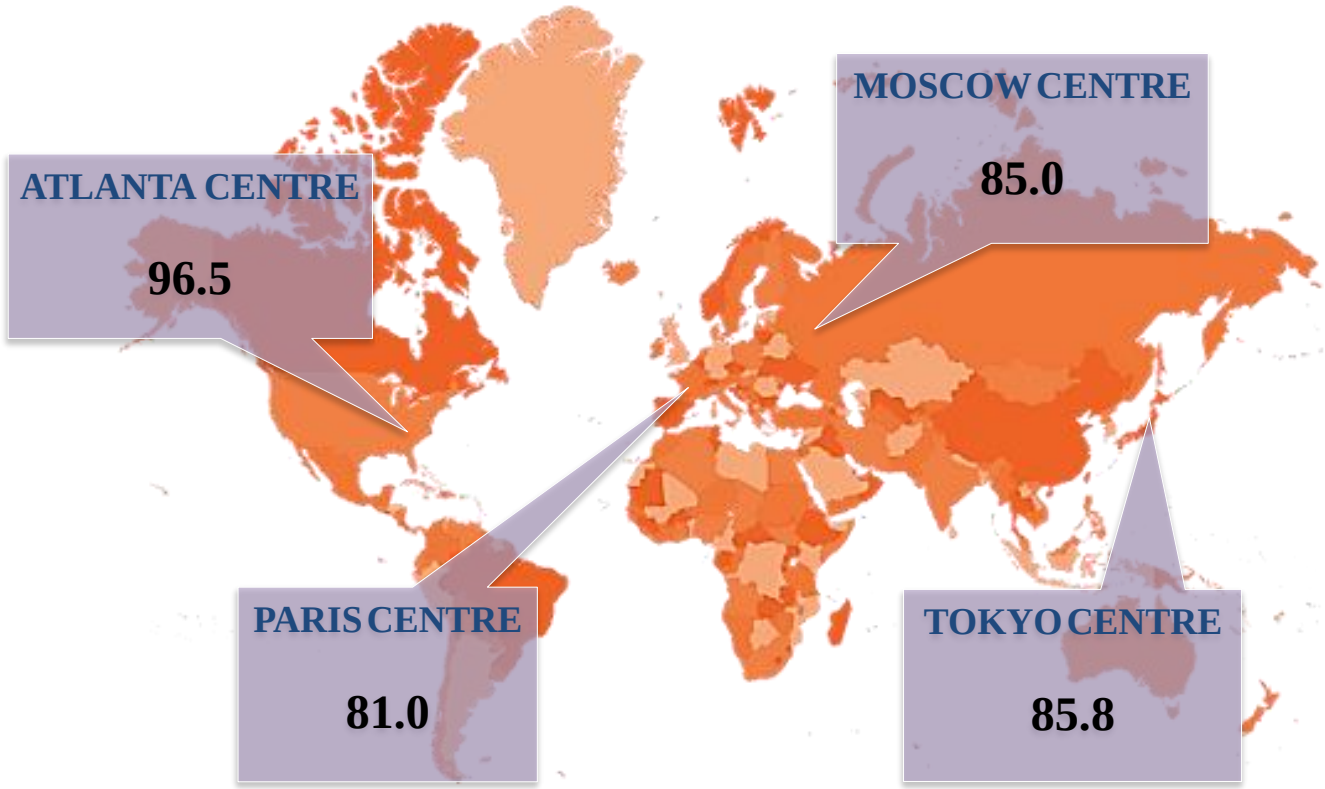


Рис.6 Медианные значения индекса ВАО АЭС для региональных центров на конец 2017 года

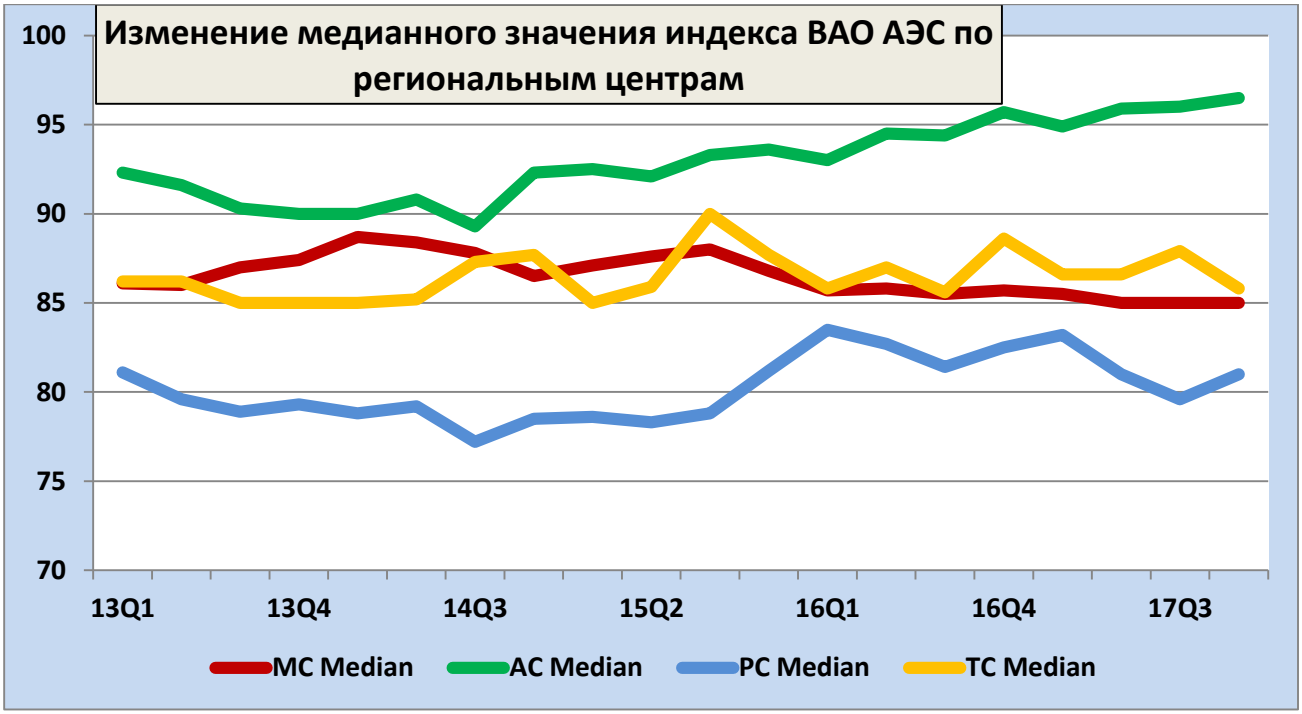


Рис.7 Изменение медианных значений индекса ВАО АЭС по региональным центрам в период с 2013 по 2017 год

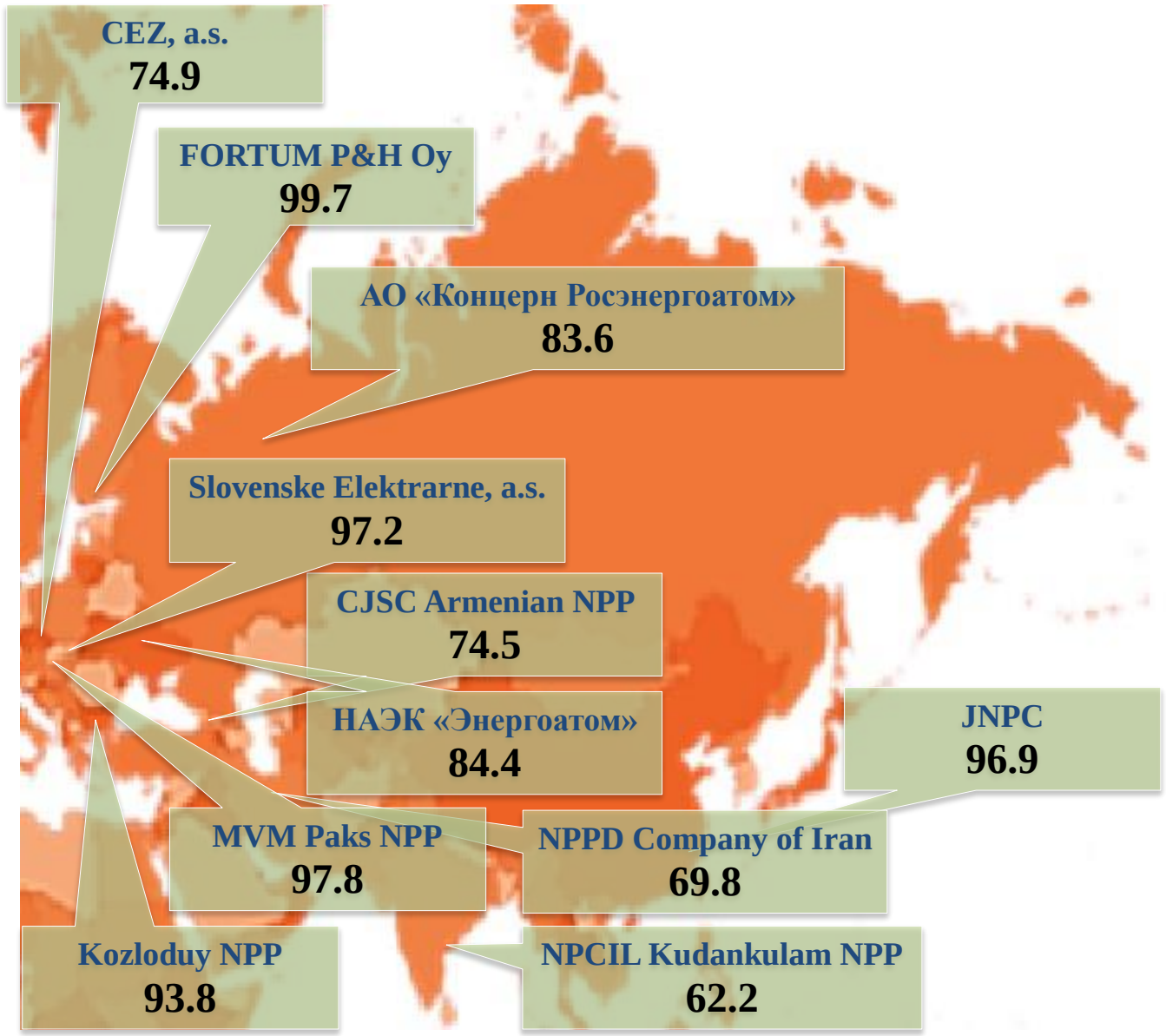


Рис.8 Медианные значения индекса ВАО АЭС для организаций - членов ВАО АЭС – МЦ на конец 2017 года

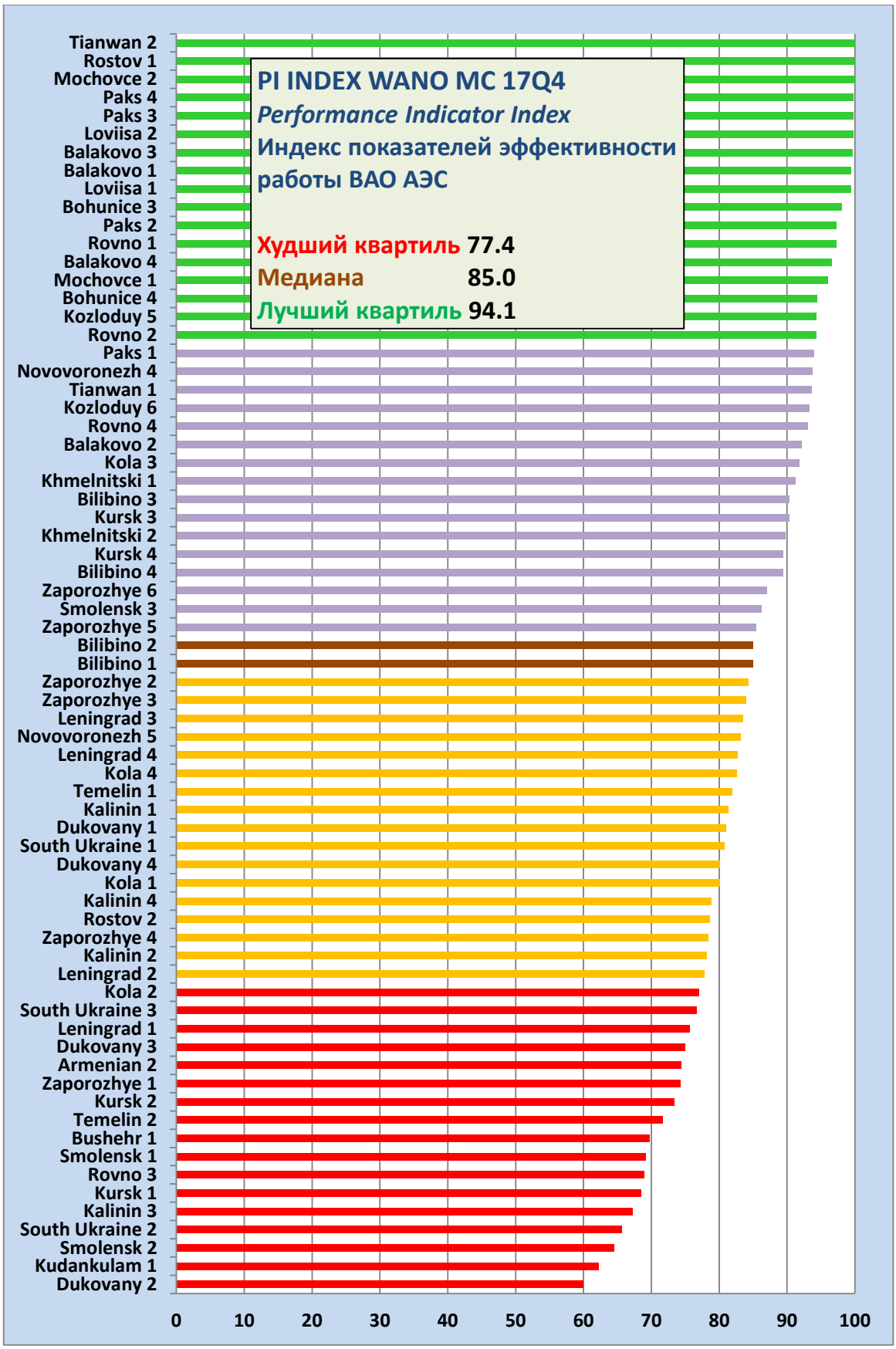
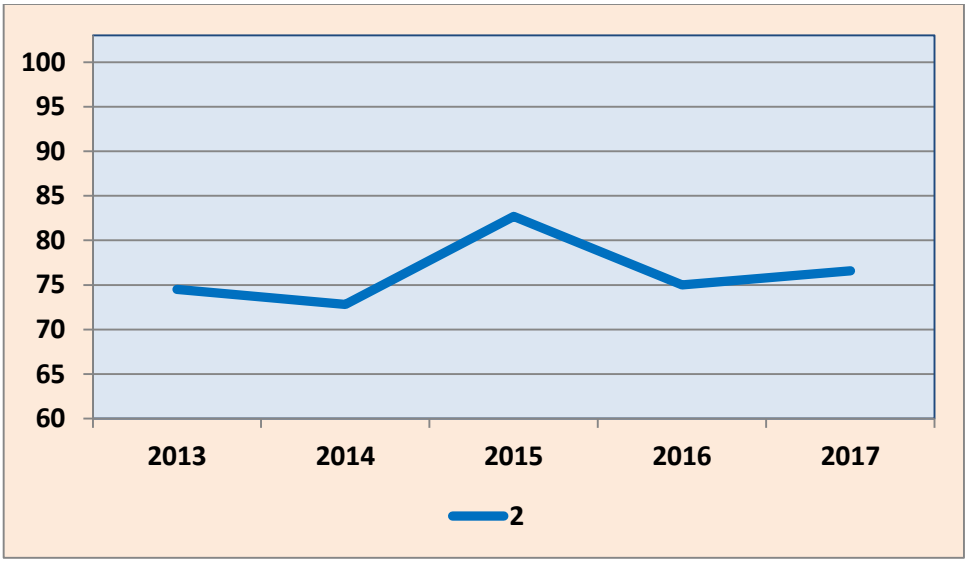


Рис.9 Распределение значений индекса по блокам АЭС ВАО АЭС – МЦ на конец 2017 года

3.2. Анализ значений индекс ВАО АЭС для всех АЭС Московского центра ВАО АЭС

В подразделе приводиться информация по 24 АЭС[1], входящих в Московский центр ВАО АЭС. Для них представлены графики изменения индекса ВАО АЭС для блоков АЭС и усредненная величина на АЭС[2]. Также в таблицах приводятся данные по показателям-вкладчикам, приводящим к снижению величины индекса ВАО АЭС. Показано 5-ти летнее распределение. При отсутствии показателя – вкладчика, в таблице отсутствуют данные (прочерк).

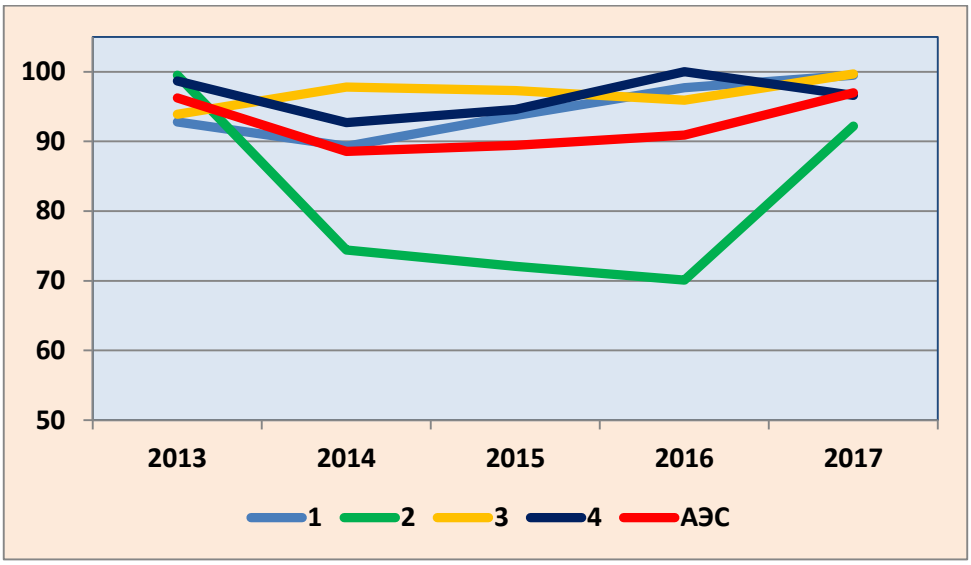
АРМЯНСКАЯ АЭС



Энергоблок	Год	Основные вкладчики, снижающие величину индекса
2	2013	CRE, FLR, UCF
	2014	CRE, CPI, FLR, UCF
	2015	CRE, CPI, FLR, UCF
	2016	CRE, CPI, UCF
	2017	CRE, CPI, UCF

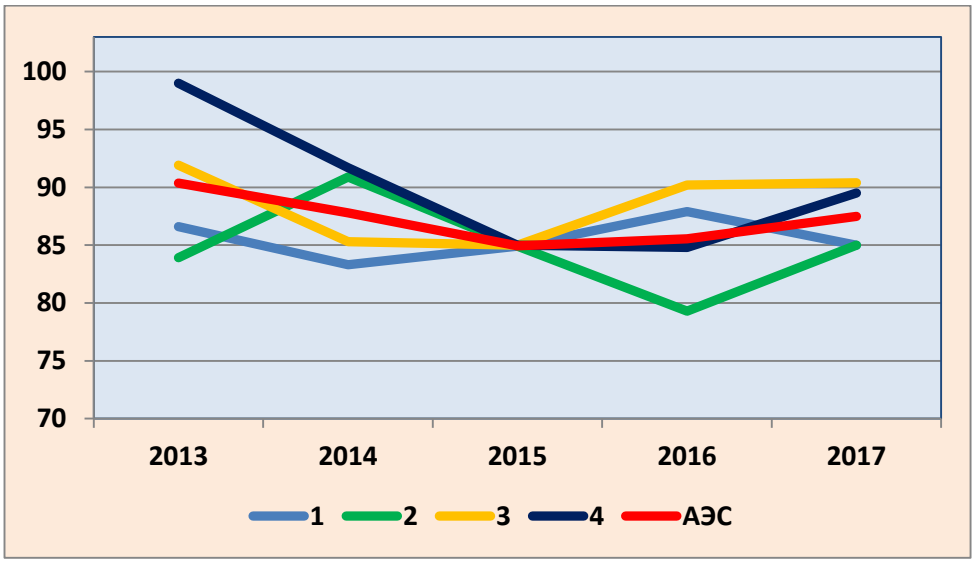
[1] Для Белоярской АЭС и ФГУП «Атомфлот» индекс ВАО АЭС не рассчитывается.
[2] Для одноблочных АЭС усредненная величина индекса АЭС равна блочной величине.

БАЛАКОВСКАЯ АЭС



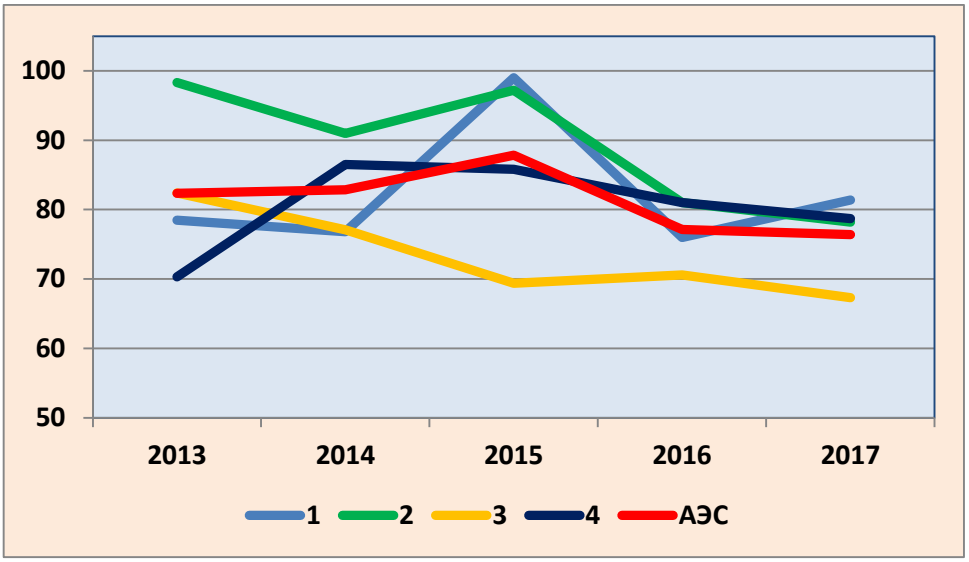
Энергоблок	Год	Основные вкладчики, снижающие величину индекса
1	2013	UCF
	2014	FRI, UCF
	2015	FRI, UCF
	2016	UCF
	2017	CRE, FLR
2	2013	CPI
	2014	CPI, FLR, UCF
	2015	CPI, FLR, UCF
	2016	FLR, UCF
	2017	CRE, UCF
3	2013	UCF
	2014	UCF
	2015	FRI, UCF
	2016	UCF
	2017	CRE
4	2013	CPI, FLR
	2014	CPI, UCF
	2015	UCF
	2016	-
	2017	CRE, UCF

БИЛИБИНСКАЯ АЭС



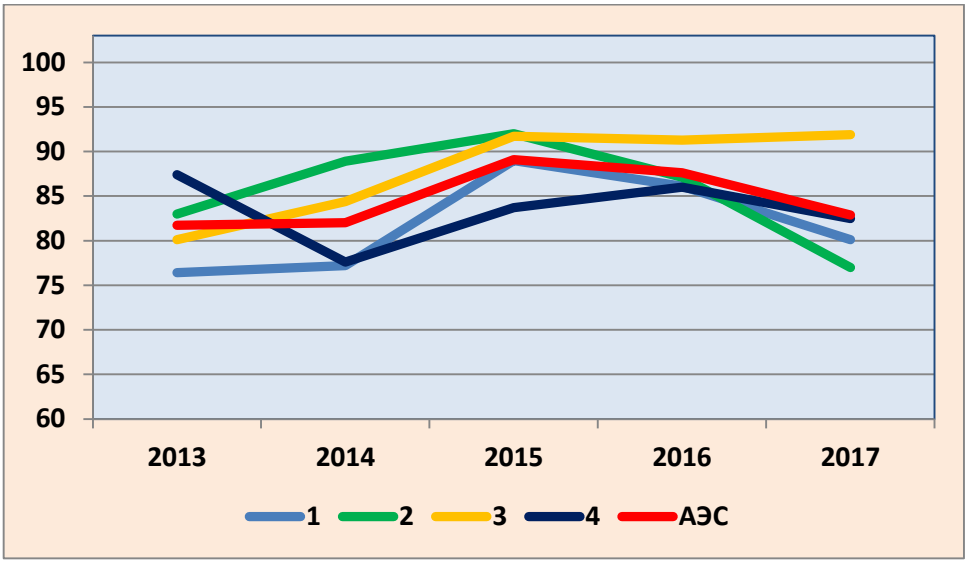
Энергоблок	Год	Основные вкладчики, снижающие величину индекса
1	2013	CPI, UA7, UCF
	2014	FLR, UA7, UCF
	2015	FLR, UCF
	2016	UCF
	2017	UCF
2	2013	CPI, UCF
	2014	UCF
	2015	UA7, UCF
	2016	UCF
	2017	UCF
3	2013	UCF
	2014	UCF
	2015	UCF
	2016	UCF
	2017	UCF
4	2013	UCF
	2014	UCF
	2015	UCF
	2016	UCF
	2017	UCF

КАЛИНИНСКАЯ АЭС



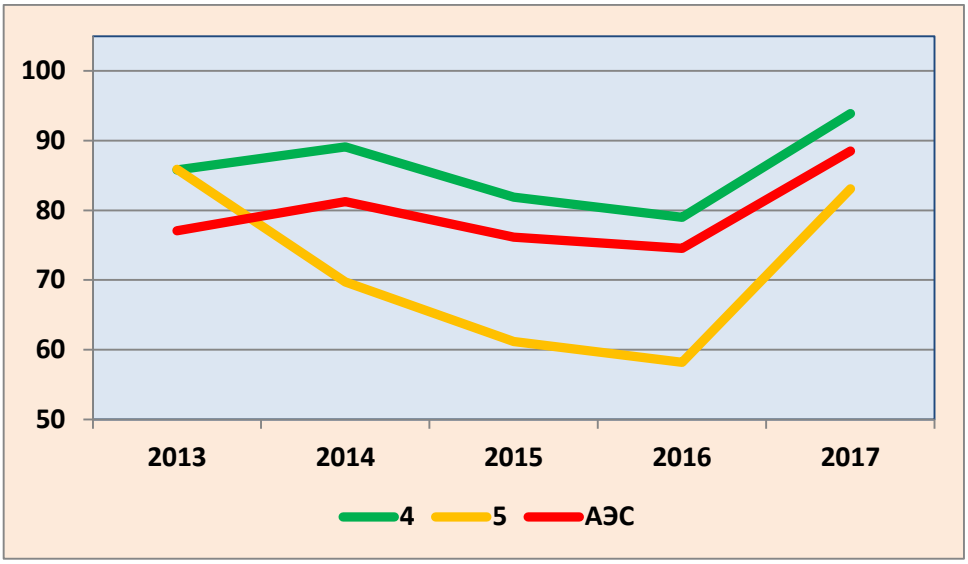
Энергоблок	Год	Основные вкладчики, снижающие величину индекса
1	2013	CPI, FLR, UCF
	2014	FLR, UA7, UCF
	2015	CPI, FLR
	2016	CRE, CPI, FLR, UCF
	2017	CRE, FRI, FLR, UCF
2	2013	CPI, UCF
	2014	UCF
	2015	CPI, FLR, UCF
	2016	CRE, CPI, FLR, UCF
	2017	CRE, FLR, UCF
3	2013	CPI, FLR, UCF
	2014	FLR, UCF
	2015	CPI, FLR, UCF
	2016	CPI, FLR, UCF
	2017	FRI, FLR, UCF
4	2013	FLR, UCF
	2014	FLR, UCF
	2015	FLR, UA7, UCF
	2016	FLR, UCF
	2017	FLR, UCF

КОЛЬСКАЯ АЭС



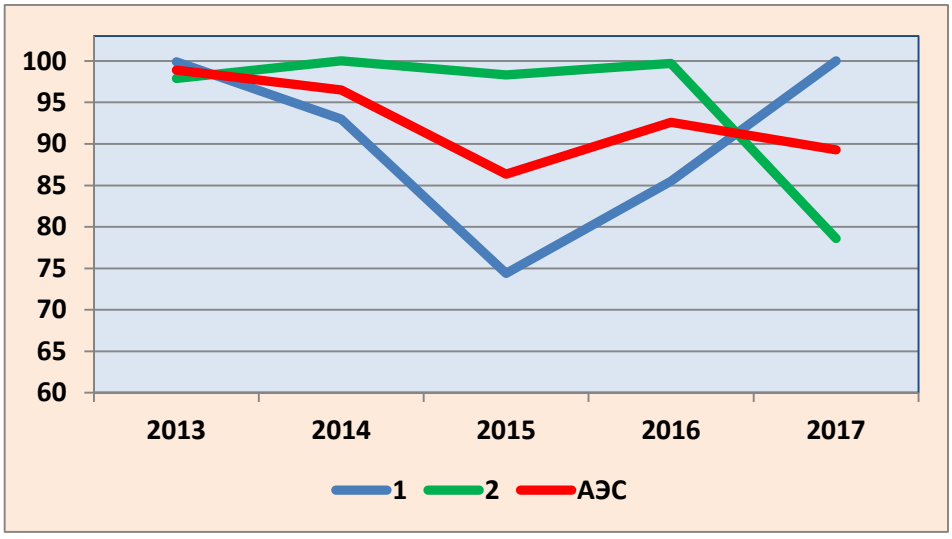
Энергоблок	Год	Основные вкладчики, снижающие величину индекса
1	2013	CRE, CPI, FLR, FRI, UA7, UCF
	2014	CRE, CPI, FLR, UCF
	2015	CRE, FRI, UCF
	2016	CRE, UCF
	2017	CRE, FRI, UCF
2	2013	CRE, CPI, FRI, UCF
	2014	CRE, CPI, FRI, UCF
	2015	CRE, FRI, UCF
	2016	CRE, FRI, UCF
	2017	FRI, UCF
3	2013	CRE, CPI, FLR, UCF
	2014	CRE, FLR, UCF
	2015	CRE, UCF
	2016	CRE, UCF
	2017	UCF
4	2013	CRE, CPI, UCF
	2014	CRE, CPI, FLR, UA7, UCF
	2015	CRE, FLR, UA7, UCF
	2016	CRE, UA7, UCF
	2017	FLR, UA7, UCF

НОВОВОРОНЕЖСКАЯ АЭС



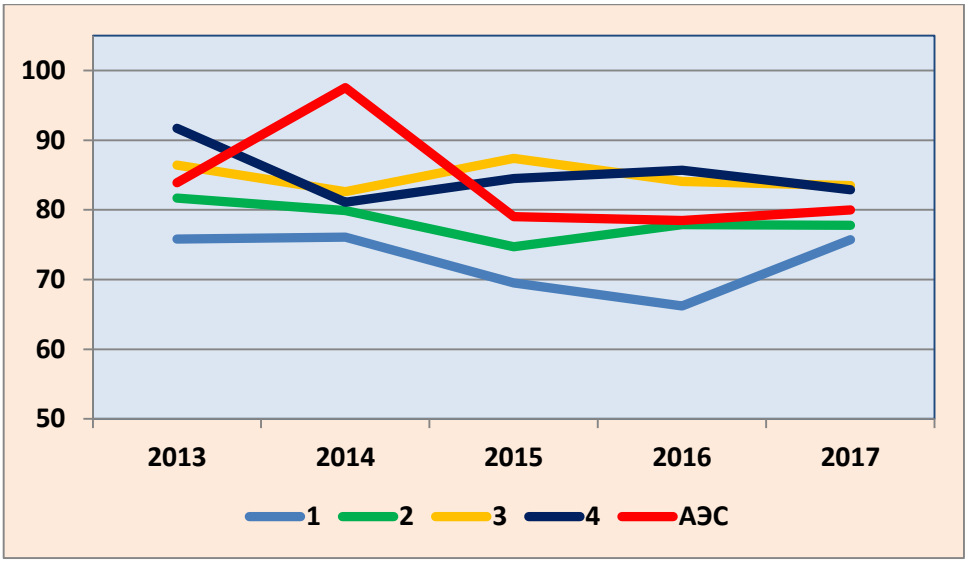
Энергоблок	Год	Основные вкладчики, снижающие величину индекса
4	2013	CRE, CPI, UCF
	2014	CRE, UCF
	2015	CRE, UCF
	2016	CRE, FLR, UCF
	2017	CRE, FLR, UCF
5	2013	CRE, CPI, FLR, UCF
	2014	CRE, CPI, FLR, UCF
	2015	CRE, CPI, FLR, UCF
	2016	CRE, CPI, UCF
	2017	CRE, FLR, UCF

РОСТОВСКАЯ АЭС



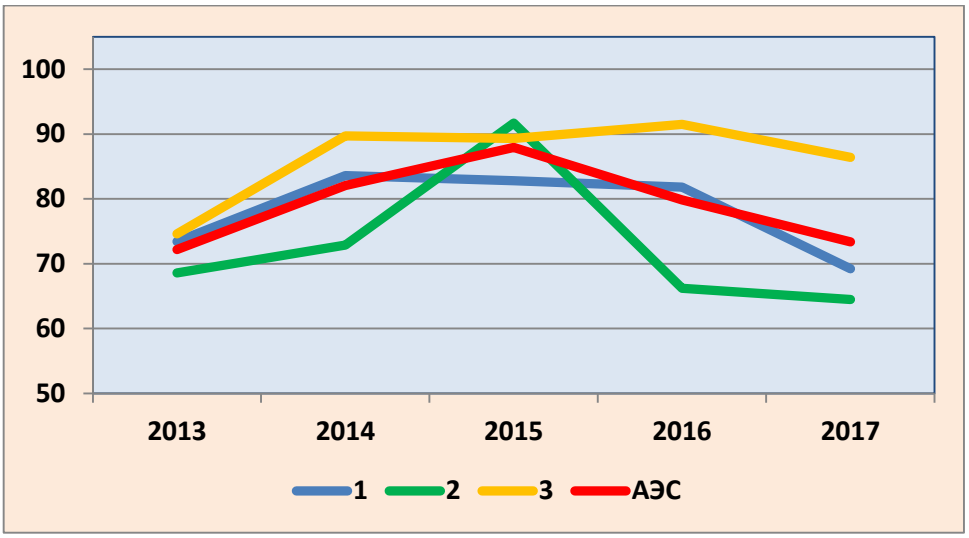
Энергоблок	Год	Основные вкладчики, снижающие величину индекса
1	2013	FLR
	2014	CPI, FLR, UCF
	2015	CPI, FLR, UCF
	2016	CPI, FLR, UCF
	2017	-
2	2013	UCF
	2014	-
	2015	CPI, UCF
	2016	CPI, UCF
	2017	FLR, UCF

ЛЕНИНГРАДСКАЯ АЭС



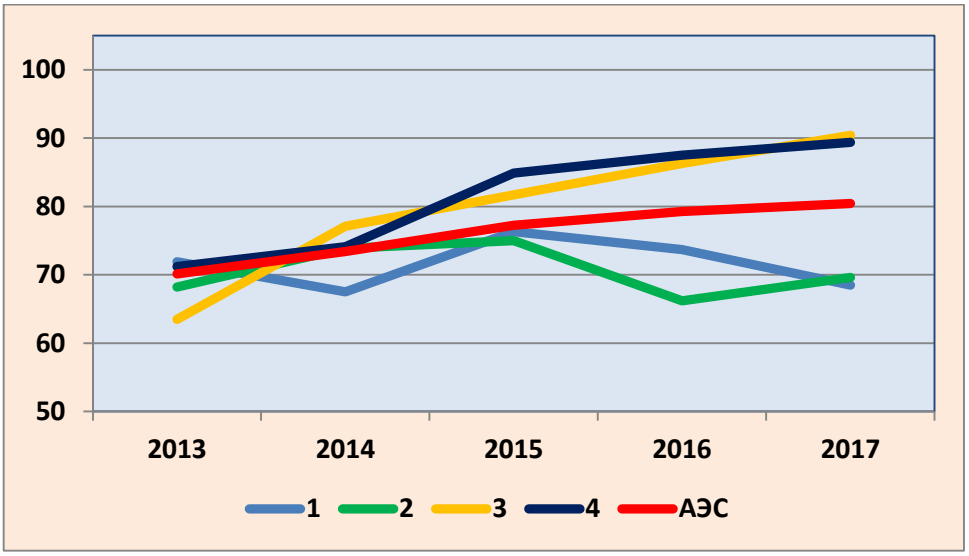
Энергоблок	Год	Основные вкладчики, снижающие величину индекса
1	2013	CRE, FLR, UCF
	2014	CRE, FLR, FRI, UA7, UCF
	2015	CRE, FLR, FRI, UA7, UCF
	2016	CRE, FLR, FRI, UA7, UCF
	2017	CRE, FLR, UA7, UCF
2	2013	CRE, FLR, UCF
	2014	CRE, FRI, UCF
	2015	CRE, FLR, FRI, UCF
	2016	CRE, FLR, FRI, UCF
	2017	CRE, FLR, UCF
3	2013	CRE, FLR, FRI, UCF
	2014	CRE, FLR, FRI, UCF
	2015	CRE, FLR, FRI, UCF
	2016	CRE, FLR, FRI, UCF
	2017	CRE, FLR, FRI, UCF
4	2013	CRE, FLR, FRI, UCF
	2014	CRE, FLR, FRI, UA7, UCF
	2015	CRE, FLR, UCF
	2016	CRE, FLR, UCF
	2017	CRE, FLR, FRI, UCF

СМОЛЕНСКАЯ АЭС



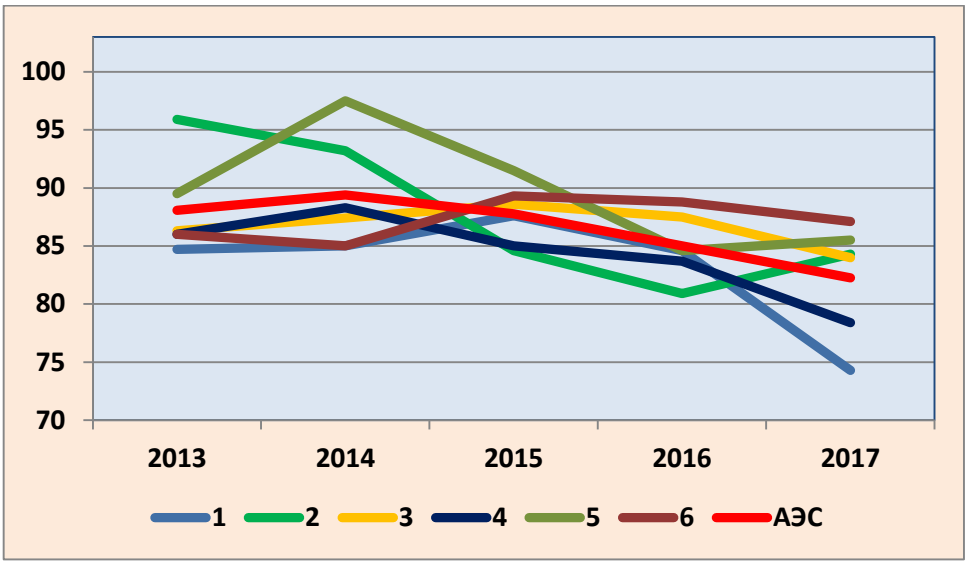
Энергоблок	Год	Основные вкладчики, снижающие величину индекса
1	2013	CRE, FLR, UA7, UCF
	2014	CRE, FLR, UA7, UCF
	2015	CRE, FLR, FRI, UCF
	2016	CRE, FLR, FRI, UCF
	2017	CRE, FLR, FRI, UCF
2	2013	CRE, FLR, UA7, UCF
	2014	CRE, FLR, FRI, UCF
	2015	CRE, FLR, FRI, UCF
	2016	CRE, FLR, FRI, UA7, UCF
	2017	CRE, FLR, FRI, UCF
3	2013	CRE, FLR, FRI, UCF
	2014	CRE, FLR, FRI, UCF
	2015	CRE, FRI, UCF
	2016	CRE, FLR, FRI, UCF
	2017	CRE, FLR, FRI, UCF

КУРСКАЯ АЭС



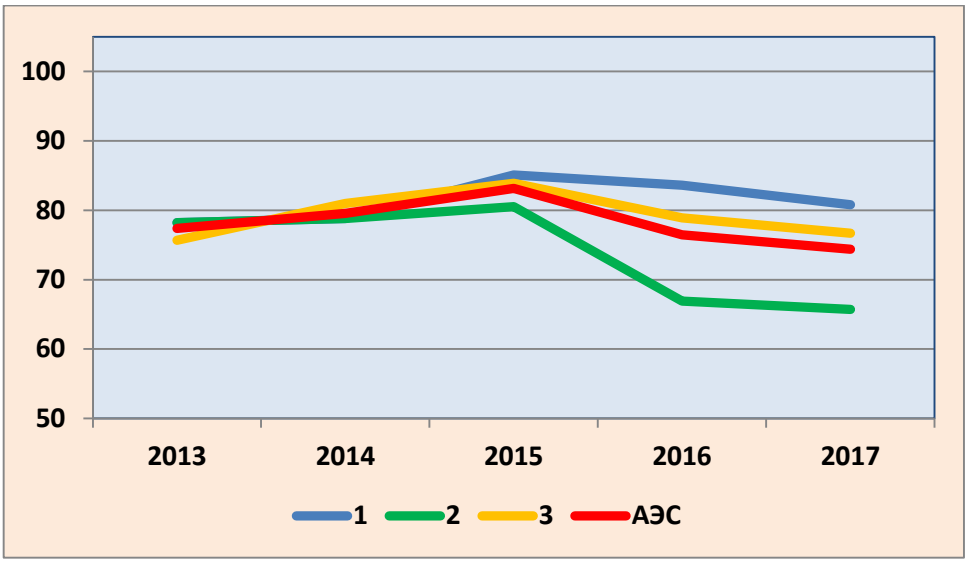
Энергоблок	Год	Основные вкладчики, снижающие величину индекса
1	2013	CRE, FLR, FRI, UA7, UCF
	2014	CRE, FLR, FRI, UCF
	2015	CRE, FLR, FRI, UCF
	2016	CRE, FLR, FRI, UA7, UCF
	2017	CRE, FLR, FRI, UA7, UCF
2	2013	CRE, CPI, FLR, UA7, UCF
	2014	CRE, FRI, UCF
	2015	CRE, FLR, FRI, UCF
	2016	CRE, FLR, FRI, UCF
	2017	CRE, FLR, FRI, UCF
3	2013	CRE, CPI, FLR, FRI, UCF
	2014	CRE, CPI, FLR, FRI, UCF
	2015	CRE, FLR, UCF
	2016	CRE, FRI, UCF
	2017	CRE, FRI, UCF
4	2013	CRE, CPI, FLR, FRI, UCF
	2014	CRE, CPI, FLR, FRI, UCF
	2015	CRE, FLR, FRI, UCF
	2016	CRE, UCF
	2017	CRE, FLR, UCF

ЗАПОРОЖСКАЯ АЭС



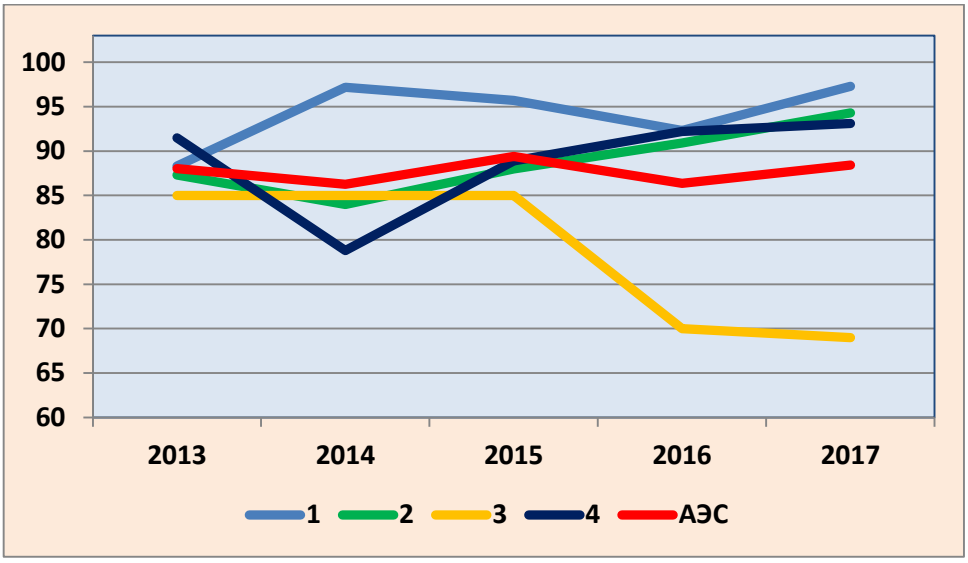
Энергоблок	Год	Основные вкладчики, снижающие величину индекса
1	2013	CPI, UCF
	2014	UCF
	2015	UCF
	2016	UCF
	2017	CRE, UCF
2	2013	UCF
	2014	UCF
	2015	UA7, UCF
	2016	UA7, UCF
	2017	CRE, UCF
3	2013	UCF
	2014	FLR, UCF
	2015	FLR, UCF
	2016	FLR, UCF
	2017	CRE, CPI, UCF
4	2013	UCF
	2014	FRI, UCF
	2015	UCF
	2016	UCF
	2017	CRE, FLR, UCF
5	2013	CPI, UCF
	2014	UCF
	2015	UCF
	2016	UCF
	2017	CRE, UCF
6	2013	UCF
	2014	UCF
	2015	UCF
	2016	UCF
	2017	CRE, FLR, UCF

ЮЖНО-УКРАИНСКАЯ АЭС



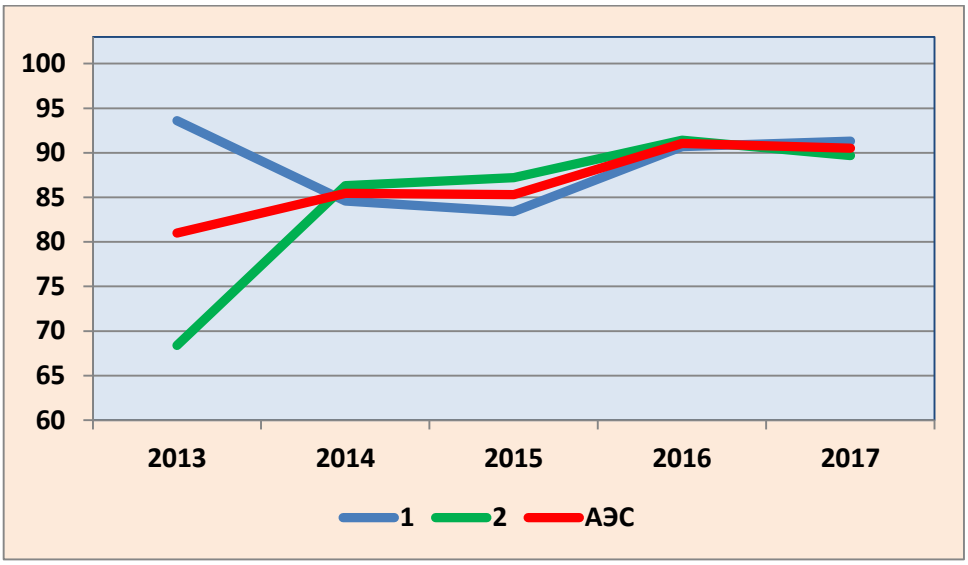
Энергоблок	Год	Основные вкладчики, снижающие величину индекса
1	2013	CRE, UCF
	2014	CRE, UCF
	2015	CRE, UCF
	2016	CRE, UCF
	2017	CRE, UCF
2	2013	CRE, UCF
	2014	CRE, UCF
	2015	CRE, UCF
	2016	CRE, FLR, UA7, UCF
	2017	CRE, FLR, UA7, UCF
3	2013	CRE, FLR, UA7, UCF
	2014	CRE, FRI, UCF
	2015	CRE, UCF
	2016	CRE, UCF
	2017	CRE, FLR, UA7, UCF

РОВЕНСКАЯ АЭС



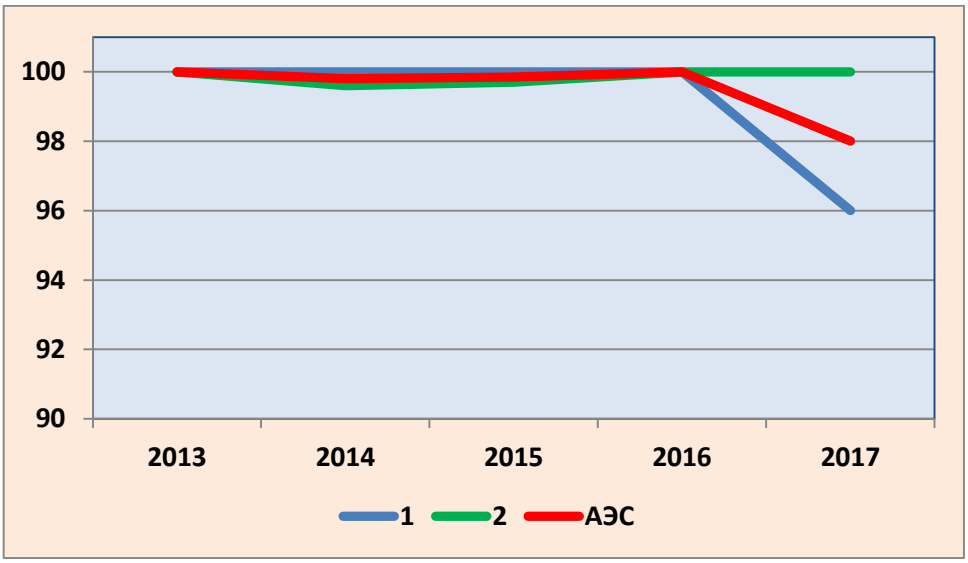
Энергоблок	Год	Основные вкладчики, снижающие величину индекса
1	2013	CRE, UCF
	2014	UA7, UCF
	2015	CRE, FRI, UCF
	2016	UCF
	2017	UCF
2	2013	CRE, FRI, UCF
	2014	FRI, UA7, UCF
	2015	CRE, UCF
	2016	UCF
	2017	UCF
3	2013	UCF
	2014	UCF
	2015	UCF
	2016	FLR, FRI, UCF
	2017	FLR, UA7, UCF
4	2013	UCF
	2014	FRI, UCF
	2015	UCF
	2016	UCF
	2017	UCF

ХМЕЛЬНИЦКАЯ АЭС



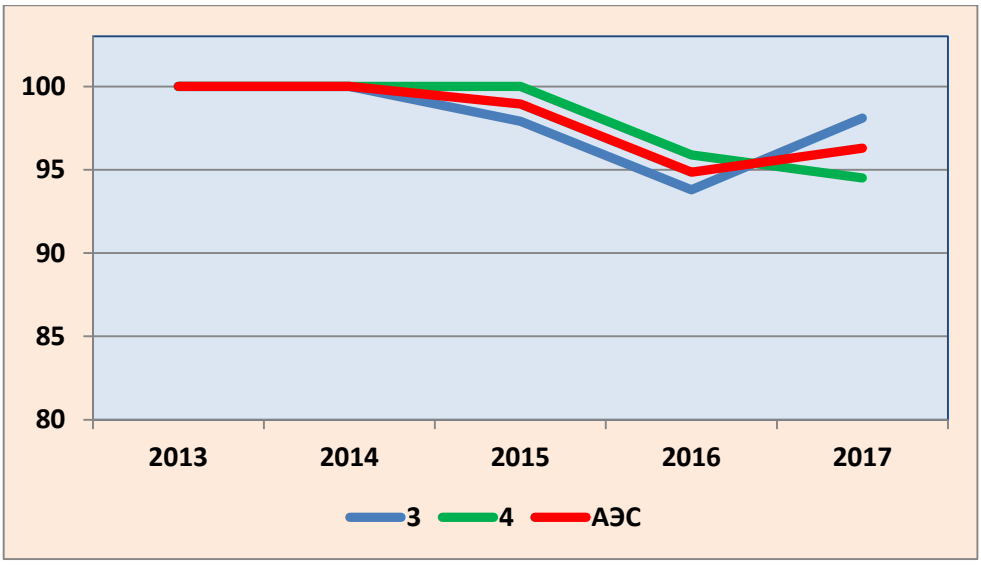
Энергоблок	Год	Основные вкладчики, снижающие величину индекса
1	2013	UCF
	2014	FLR, UCF
	2015	FLR, FRI, UCF
	2016	FLR, UCF
	2017	CRE, UCF
2	2013	CPI, FLR, FRI, UCF
	2014	CPI, UCF
	2015	CPI, UCF
	2016	CPI, UCF
	2017	CRE, CPI, UCF

АЭС МОХОВЦЕ



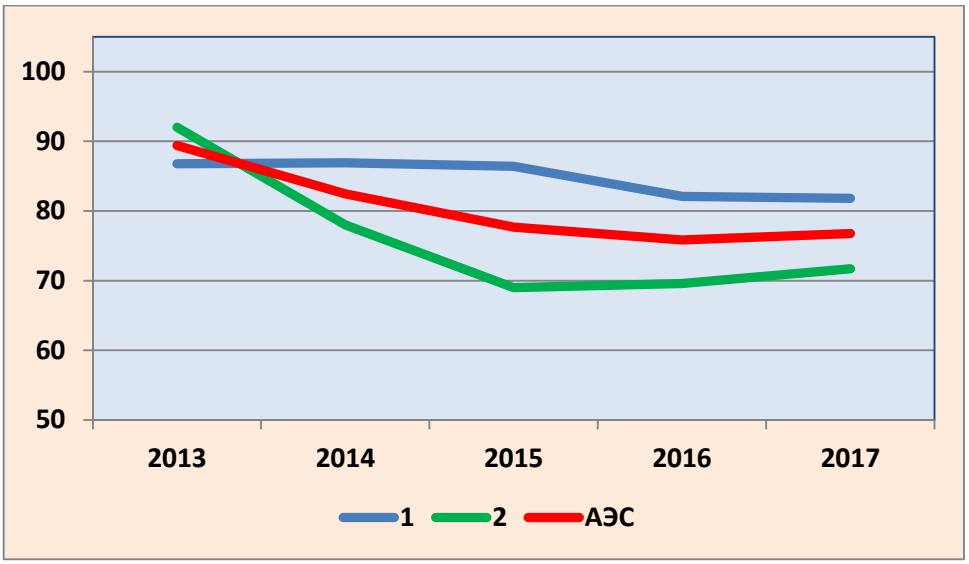
Энергоблок	Год	Основные вкладчики, снижающие величину индекса
1	2013	-
	2014	-
	2015	-
	2016	-
	2017	UCF
2	2013	-
	2014	UCF
	2015	UCF
	2016	-
	2017	-

АЭС БОГУНИЦЕ



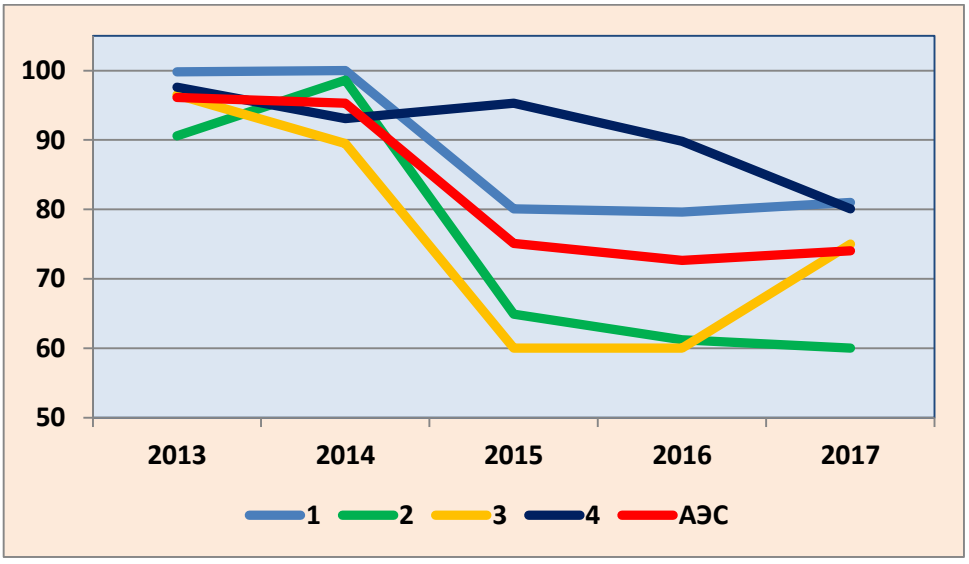
Энергоблок	Год	Основные вкладчики, снижающие величину индекса
3	2013	-
	2014	-
	2015	UCF
	2016	ISA2, UCF
	2017	ISA2, UCF
4	2013	-
	2014	-
	2015	-
	2016	ISA2, UCF
	2017	ISA2, UCF

АЭС ТЕМЕЛИН



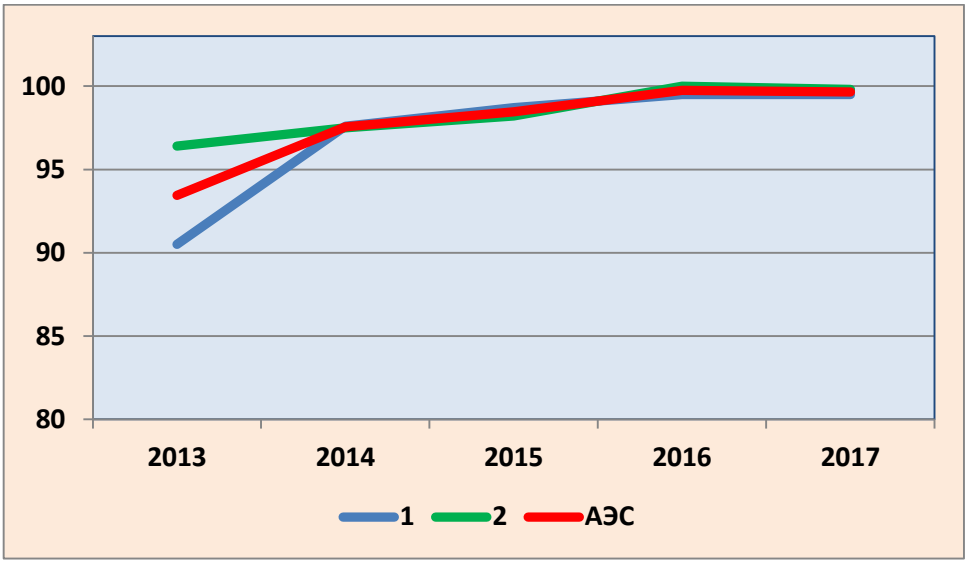
Энергоблок	Год	Основные вкладчики, снижающие величину индекса
1	2013	FLR, FRI, UCF
	2014	UCF
	2015	FLR, ISA2, UCF
	2016	FLR, ISA2, UCF
	2017	FRI, UCF
2	2013	FLR, UCF
	2014	FLR, FRI, UCF
	2015	FLR, FRI, ISA2, UCF
	2016	FLR, ISA2, UCF
	2017	FLR, FRI, UCF

АЭС ДУКОВАНЫ



Энергоблок	Год	Основные вкладчики, снижающие величину индекса
1	2013	UCF
	2014	-
	2015	SP1, UCF
	2016	SP1, UCF
	2017	SP1, UCF
2	2013	UCF
	2014	UCF
	2015	FLR, SP1, UCF
	2016	FLR, SP1, UCF
	2017	FLR, SP1, UCF
3	2013	UCF
	2014	FLR, UCF
	2015	FLR, SP1, UCF
	2016	FLR, SP1, UCF
	2017	SP1, UCF
4	2013	UCF
	2014	FLR, UCF
	2015	FLR
	2016	FLR, UCF
	2017	FLR, UCF

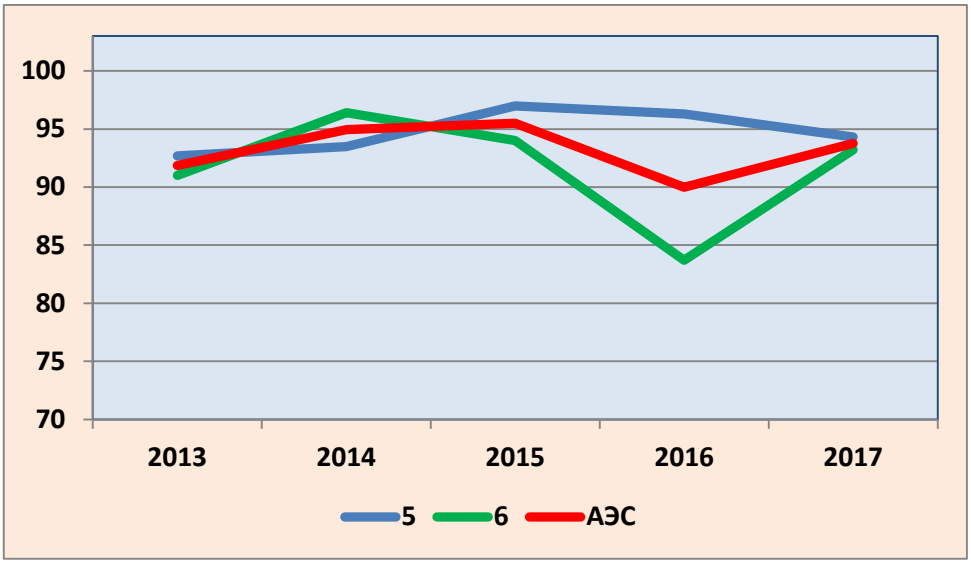
АЭС ЛОВИИСА



Энергоблок	Год	Основные вкладчики, снижающие величину индекса
1	2013	CRE, ISA2, UCF
	2014	ISA2
	2015	ISA2
	2016	UCF
	2017	ISA2, UCF
2	2013	FLR, ISA2
	2014	ISA2, UCF
	2015	FLR, ISA2, UCF

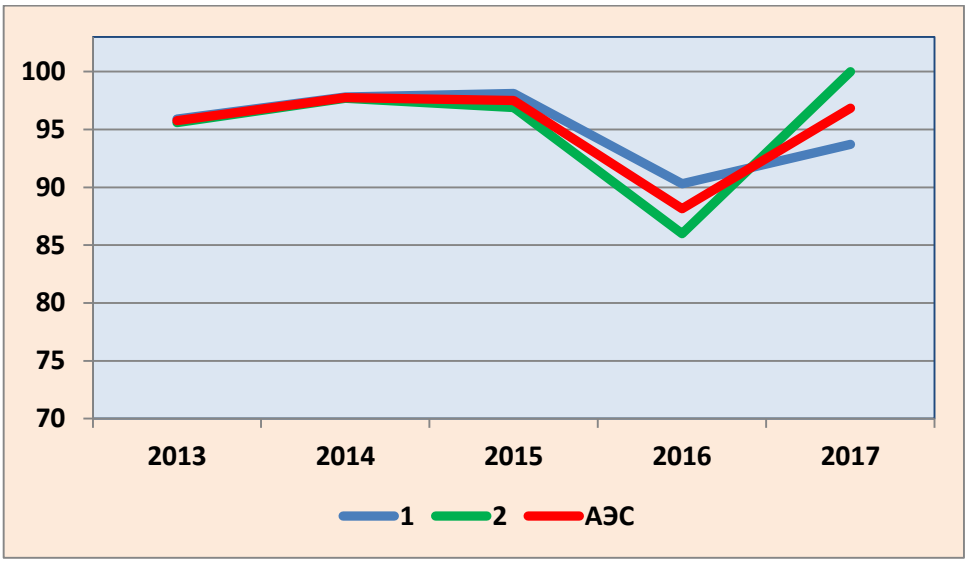
Энергоблок	Год	Основные вкладчики, снижающие величину индекса
	2016	-
	2017	ISA2,

АЭС КОЗЛОДУЙ



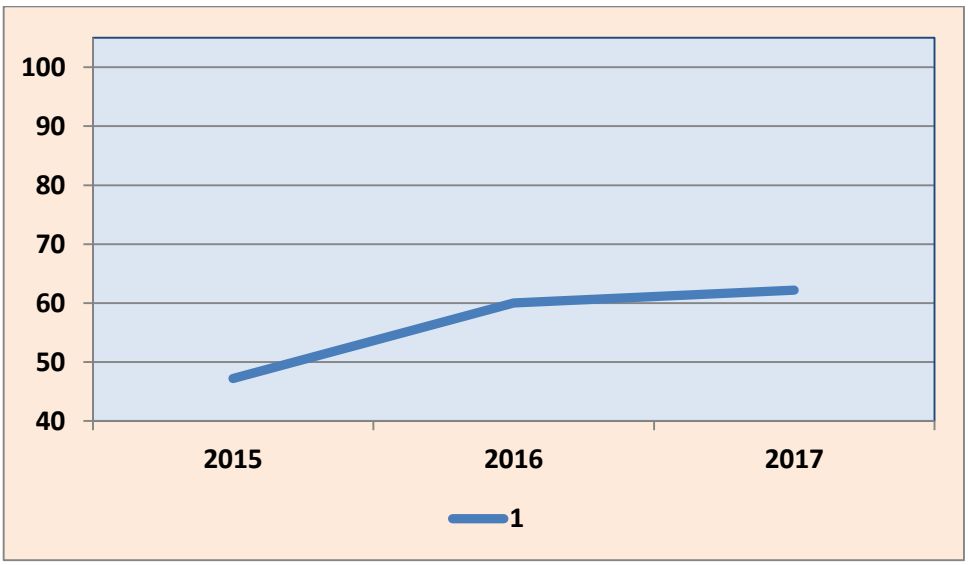
Энергоблок	Год	Основные вкладчики, снижающие величину индекса
5	2013	CPI, FLR, UCF
	2014	FLR, UCF
	2015	CPI, UCF
	2016	CPI, UCF
	2017	CPI, UCF
6	2013	FLR, UA7, UCF
	2014	UCF
	2015	UCF
	2016	UCF
	2017	CRE, UCF

АЭС ТЯНЬВАНЬ



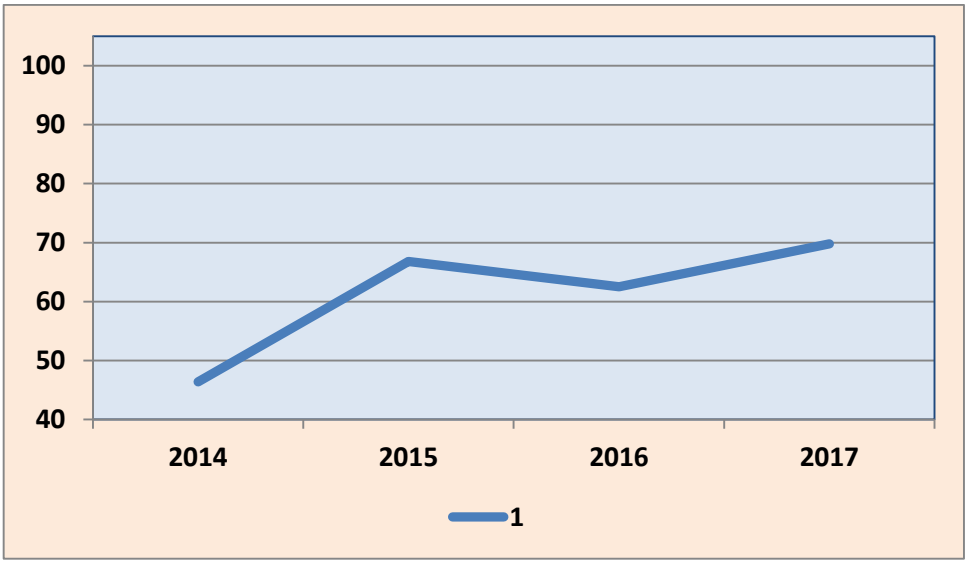
Энергоблок	Год	Основные вкладчики, снижающие величину индекса
1	2013	UCF
	2014	UCF
	2015	UCF
	2016	FLR, FRI, UCF
	2017	UCF
2	2013	UCF
	2014	UCF
	2015	UCF
	2016	UA7
	2017	-

АЭС КУДАНКУЛАМ



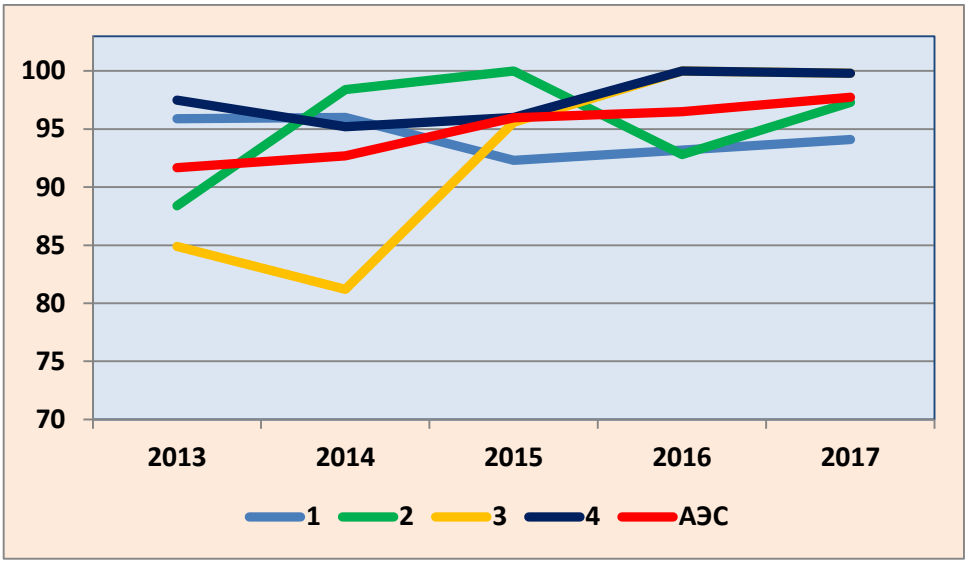
Энергоблок	Год	Основные вкладчики, снижающие величину индекса
1	2016	FLR, FRI, UA7, UCF
	2017	FLR, SP1, UA7, UCF

АЭС БУШЕР



Энергоблок	Год	Основные вкладчики, снижающие величину индекса
1	2014	FLR, ISA2, UA7, UCF
	2015	FLR, UA7, UCF
	2016	FLR, UA7, UCF
	2017	FLR, UA7, UCF

АЭС ПАКШ



Энергоблок	Год	Основные вкладчики, снижающие величину индекса
1	2013	CPI, ISA2, UCF
	2014	FRI, UCF
	2015	CRE, UCF
	2016	UCF
	2017	CRE, FLR, ISA2, UCF
2	2013	CRE, CPI, FLR, ISA2, UCF
	2014	FLR, UCF
	2015	-
	2016	-
	2017	ISA2, UCF
3	2013	CRE, ISA2, UCF
	2014	CRE, CPI, UCF
	2015	CPI, UCF
	2016	UCF
	2017	ISA2
4	2013	CPI, FLR, ISA2, UCF
	2014	UCF
	2015	UCF
	2016	-
	2017	ISA2

4. Показатели эффективности работы АЭС

4.1 Анализ производственных показателей ВАО АЭС по эффективности энерговыработки

В подразделе подробно рассматриваются данные по энерговыработке АЭС МЦ, приведены аналитические данные по показателям ВАО АЭС, обеспечивающих мониторинг процесса производства электрической энергии. Для анализа был взят 10-ти летний период (2008 – 2017 года).

Система показателей ВАО АЭС обеспечивает мониторинг в том числе и процесс генерации электрической энергии на АЭС. С помощью этих показателей отражаются не только непосредственные возможности АЭС по генерации, но и учитываются доли электроэнергии, которая могла быть произведена, но в силу различных объективных причин перешла в разряд недовыработок.

К показателям группы «Генерация электроэнергии» относятся:

- **UCF** - коэффициент готовности энергоблока;
- **UCLF** - коэффициент неготовности энергоблока, связанный с неплановой недовыработкой;
- **FLR** - коэффициент вынужденных потерь электроэнергии;
- **GRLF** - коэффициент недовыработки по причинам, связанным с работой энергосистемы;
- **UA7** - неплановые автоматические аварийные остановы реактора на 7000 часов работы блока в критическом состоянии;
- **US7** - неплановые аварийные остановы реактора на 7000 часов работы блока в критическом состоянии.

Стоит отметить, что данная группа является самой большой среди всех показателей. Ее важность подчеркнута двумя (FLR и US7) из пяти показателей, являющихся ключевыми для всего атомного мирового сообщества.

Атомные электростанции проектировались и эксплуатируются для выполнения своей основной задачи – безопасного производства электрической энергии. В свое время атомные технологии предоставили возможности для электростанций по генерации большого количества электроэнергии при относительно низкой себестоимости. На конец 2017 года в базе данных ПЭР ВАО АЭС обрабатывались данные по 74 блокам АЭС и 5 судам Атомфлота. Установленная мощность блоков АЭС составила **58,913** ГВт электроэнергии. На **рис. 10** приведены данные по изменению установленной мощности блоков ВАО АЭС – МЦ за 10-ти летний период.

Рис.10

За 10 лет было введено в эксплуатацию 8 блоков и выведен из эксплуатации 1. Общая данные по этим блокам по добавлению в базу данных DES представлены в **таблице 6**.

Таблица 6

Год, квартал	АЭС	№ блока	Проектная мощность
2011 (с 2011Q1)	Ростовская	2	1000
2012 (с 2012Q4)	Калининская	4	1000
2013 (с 2013Q4)	Бушер	1	1000
2015 (с 2015Q4)	Ростовская	3	1000
2015 (с 2015Q1)	Куданкулам	1	1000
2017 (с 2017Q1)	Нововоронежская	3	417
2017 (с 2017Q1)	Белоярская	4	885
2017 (с 2017Q2)	Куданкулам	2	1000
2017 (с 2017Q2)	Нововоронежская	2-1	1180,3

При этом суммарная установленная мощность блоков увеличилась на **8,81 ГВт**, что составляет **17,5%** от данных на начало 2008 года. Но также стоит отметить, что рост суммарной генерации по Московскому центру обусловлен не только введением новых генерирующих мощностей, но и сопровождался комплексными работами по модернизации действующего оборудования и

повышения мощностей существующих блоков. Так, в **таблице 7** представлены данные по блокам, которые участвовали в программах повышения мощности блоков.

Таблица 7

АЭС	№ блока	Проектная мощность, МВт	
		2008Q1	2017Q4
Богунице	3	441	505
	4	441	505
Дукованы	1	456	500
	2	440	500
	3	456	500
	4	456	500
Ловииса	1	510	531
	2	510	526
Моховце	1	440	470
	2	440	470
Пакш	1	500	500
	2	470	500
	3	470	500
	4	500	500
Темелин	1	1013	1080
	2	1013	1080
Тяньвань	1	1000	1060
	2	1000	1060
Общая генерация электроэнергии, МВт:		10556	11287

Генерация электроэнергии со стороны АЭС в МЦ за счет программ повышения мощности увеличилась на 731 МВт в течении 10 лет, что составляет **1,45%** от установленной мощности АЭС в 2008 году. Для 4-х АЭС, по которым имеются данные в системе DES с 1990 года, увеличение производства электроэнергии за счет повышения мощности блоков достигло величины в **1122,8 МВт**. Эти данные приведены в **таблице 8**:

Таблица 8

АЭС	№ блока	Проектная мощность, МВт	
		1990Q1	2017Q4
Богунице	3	435,7	505
	4	436	505
Дукованы	1	432	500
	2	438	500
	3	451,7	500
	4	447,7	500
Ловииса	1	465	531
	2	465	526
Пакш	1	439,7	500
	2	449,7	500
	3	459,7	500
	4	459,7	500
Общая генерация электроэнергии, МВт:		4944,2	6067

Также пользуясь данными с системы DES можно узнать каковы параметры энергогенерации по МЦ. На **рис. 11** приведены графики с данными по энергогенерации по МЦ. На этом рисунке верхняя красная кривая – это производство электроэнергии брутто по всему МЦ с учетом установленной мощности блоков АЭС. То есть, это то количество электроэнергии, которое могло быть произведено на АЭС МЦ, при постоянной работе блоков на полной мощности в течении 10-ти лет.
Следующая кривая – это производство электроэнергии нетто по всему МЦ. Здесь необходимо сделать допущение, что в нашем случае под нетто мы понимаем то количество электроэнергии, которое произведено на АЭС с учетом всех видов недовыработок (будет рассмотрено ниже) и диспетчерских ограничений, которые находятся не под руководством АЭС. И последняя кривая (нижняя), выраженная как разность значений брутто и нетто энерговыработки, представляет собой недовыработку электроэнергии или возможное количество не реализованной по тем или иным причинам генерации электроэнергии. Здесь стоит отметить что, не смотря на хорошие показатели по увеличению производства электроэнергии в целом по МЦ, доля недовыработки растет. За 10 лет это значение увеличилось на величину около **15%** по отношению к 2008 году и на конец 2017 года составляет порядка **97 ТВт*ч** по всем АЭС МЦ. Анализируя данные по графику недовыработок электроэнергии стоит отметить некоторые особенности. В диапазоне 2008 – 2012 года наблюдалось относительное стабильное состояние с небольшим положительным трендом на снижение этой величины на **2,7%** (или около **2,3 ТВт*ч**) при постоянном увеличении производства электроэнергии нетто. В 2013 году наблюдалось резкое увеличение недовыработок на **11%** (или около **8,9 ТВт*ч**) при практически неизменной, но незначительно снижающейся величине производства электроэнергии нетто (изменение в диапазоне 2012 – 2013 года составило **-0,25%** или **0,93 ТВт*ч**).

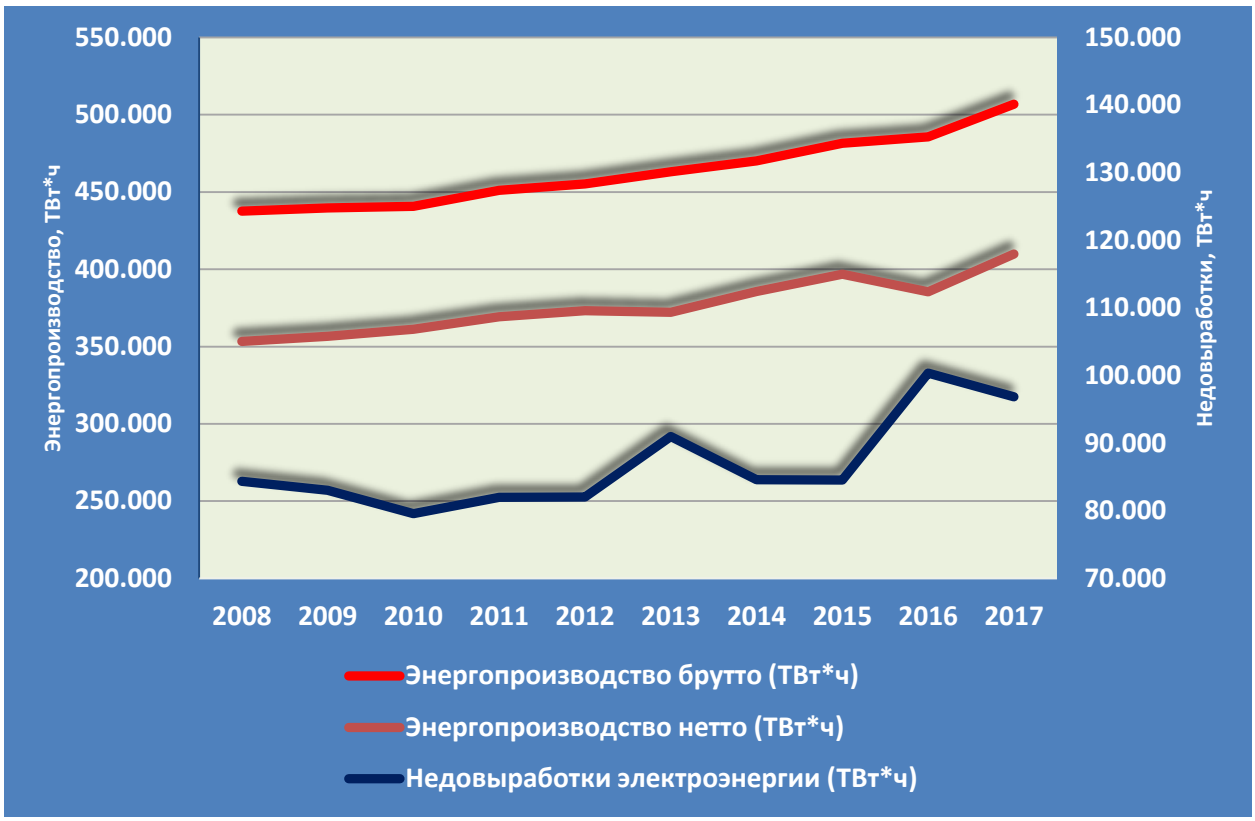


Рис.11

Следующее существенное увеличение недовыработок наблюдалось с 2015 года. Здесь скачок в 2016 году составил уже величину **19%** (или около **15,8 ТВт*ч**). К концу 2017 года наблюдается небольшое снижение доли недовыработок, но эта величина все-таки остается существенной для обращения внимания со стороны эксплуатирующих организаций.

На **рис. 12** более подробно рассмотрены изменения недовыработки АЭС по производству электроэнергии с учетом составляющих, которые рассматриваются в системе показателей эффективности работы ВАО АЭС. Сюда относятся 4-е вида недовыработок: плановые, неплановые вынужденные потери, неплановые перепростои в ремонте и неплановые недовыработки из-за отказов в электрических сетях.

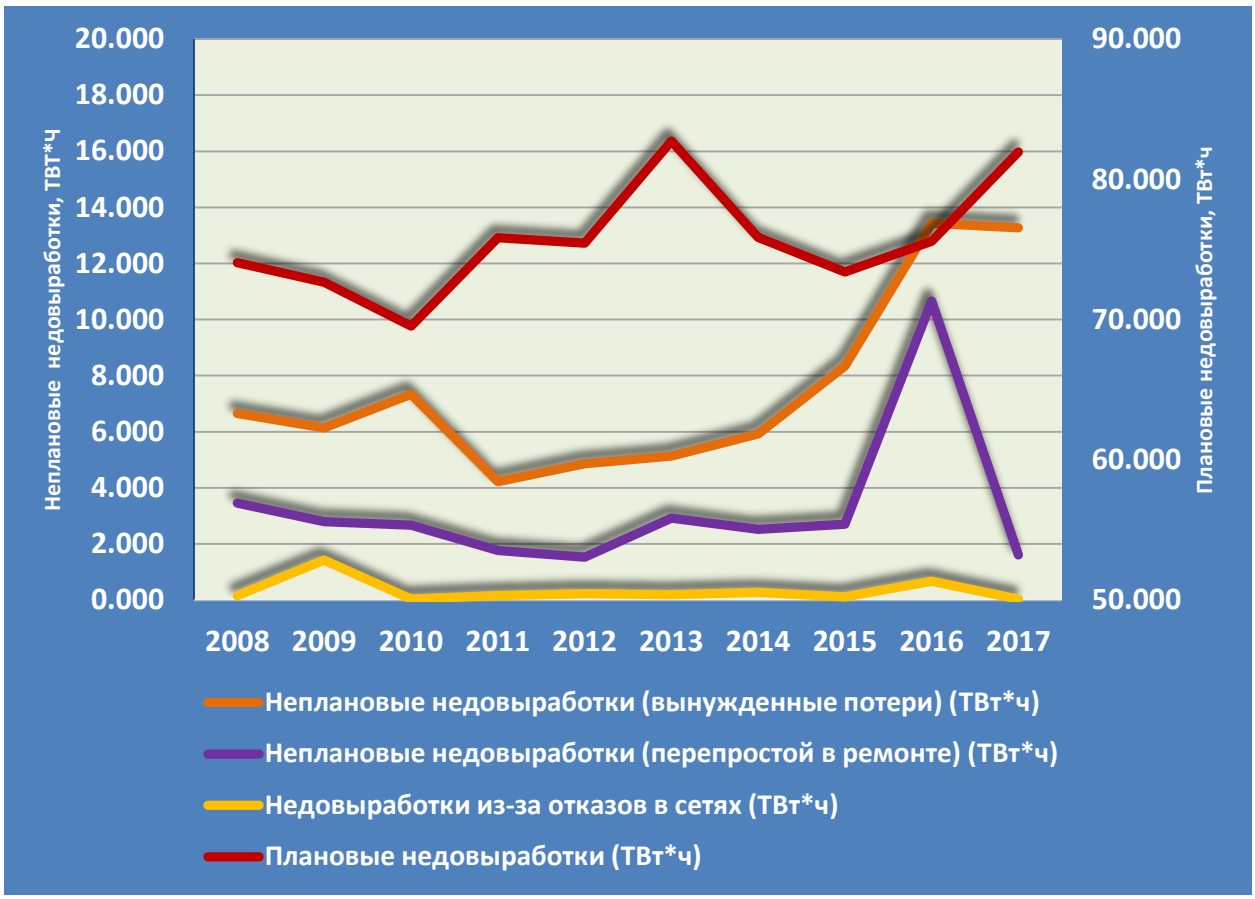


Рис.12

На **рис. 13** и **табл. 9** представлены гистограмма (визуальное соотношение) и таблица (численные значения), на которых видно, как распределяются в процентном отношении соответствующие виды недовыработок в 10-ти летнем диапазоне. В числовом значении недовыработки составили **84,33** ТВт*ч (2008) и **96,87** ТВт*ч (2017).

Самый малый вклад в энергопотери составляют недовыработоки по причине отказов в энергосетях. эта величина остается для МЦ практически неизменной и имеет значение порядка от 0,2% в 2008 до 0,03% в 2017 году. Основной вклад в эти потери составляют отказы электротехнического оборудования – основных блочных трансформаторов, являющихся связующим элементом между блоком АЭС и энергосетями.

Бóльший интерес представляет собой динамика изменений соотношений между оставшимися 3-мя составляющими (плановые потери, вынужденные потери и перепростои в ремонте). Лучшие результаты в атомной мировой отрасли при эксплуатации АЭС соответствуют практике, когда потери от перепростоев в ремонте отсутствуют, доля вынужденных потерь минимальна, а доля плановых потерь – максимальна. Как видим из **рис. 13** и **табл. 9**, плановые потери при производстве электроэнергии на АЭС МЦ составляют самую большую долю от 75 до 92% от всех потерь. При этом за 10 лет произошло негативное смещение в сторону уменьшения доли плановых потерь и в 2017 году они составляли порядка 85%, а в 2016 году – 75%. Это произошло из-за увеличения доли вынужденных потерь, которая на конец 2017 года составила 13,7% от всех потерь и при этом это значение увеличилось практически в два раза по отношению доли вынужденных потерь в 2008 году.

Рис. 13

Таблица 9

Виды потерь электроэнергии	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Плановые потери, %	87.83	87.53	87.40	92.50	92	90.93	89.71	86.81	75.33	84.6
Вынужденные потери, %	7.89	7.39	9.22	5.15	5.93	5.65	6.99	9.87	13.39	13.7
Продление (перепростой) ремонта, %	4.10	3.36	3.35	2.16	1.86	3.21	2.98	3.19	10.62	1.7
Потери в энергосетях, %	0.20	1.72	0.03	0.19	0.27	0.21	0.32	0.13	0.67	0.03

Наиболее оптимальный период эксплуатации АЭС МЦ наблюдался в 2011 году. В то время доля вынужденных потерь была минимальной - 5,15%, а доля плановых потерь максимальна – 92,5%.

В тоже время отношение доли потерь при перепростоях в ремонте за 10 лет сместилось в сторону улучшения этой величины: от 4,1% до 1,7%. Но здесь стоит обратить внимание на локальное

увеличение этой доли потерь во временном диапазоне 2013 – 2016 года, что обусловлено большими объемами работ по продлению сроков эксплуатации блоков.

Какие же фактические результаты энергогенерации АЭС МЦ и каково их место среди региональных центров. На рисунках **14 ÷ 17** приведены данные по региональным центрам в части изменений значений показателей UCF и FLR, которые в основном отвечают за фактические результаты работы АЭС в части энергогенерации. При этом стоит отметить, что показатель UCF показывает также располагаемые возможности для оптимизации и повышения эффективности производства электроэнергии на АЭС, а показатель FLR определяет ту долю потерь энерговыработки, которая затрачивается на неплановые вынужденные потери выработки из-за отказов оборудования.

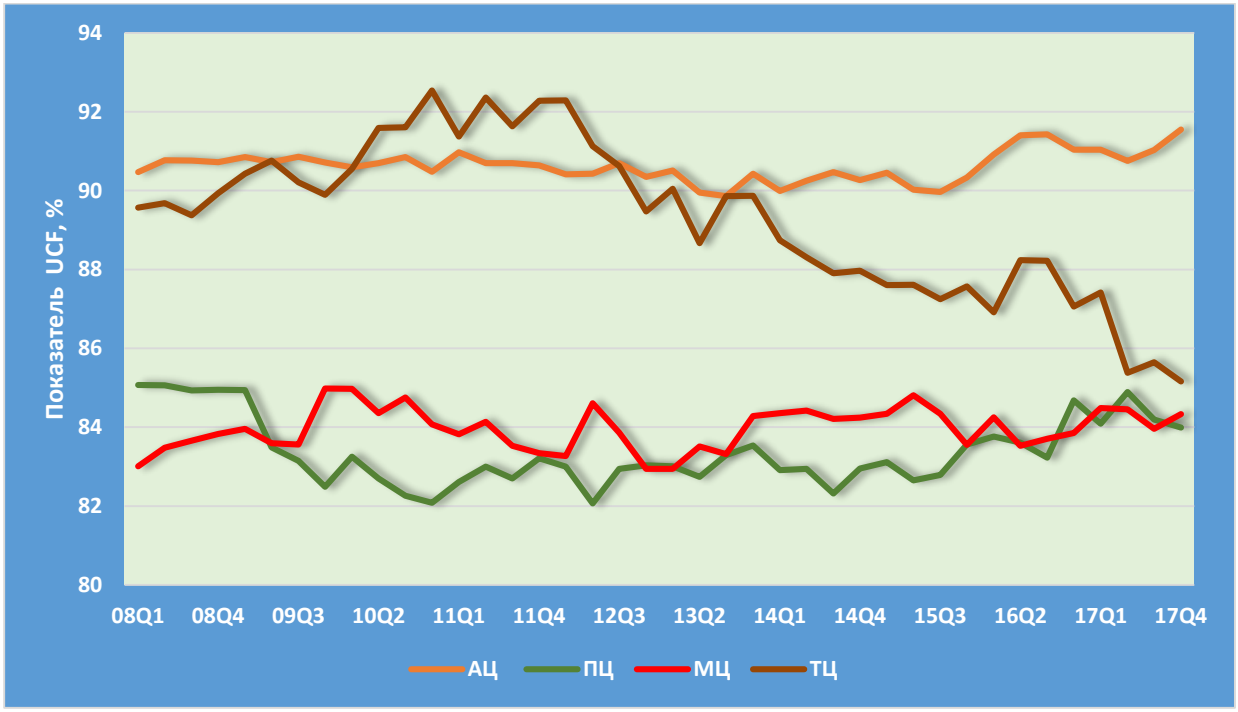


Рис. 14 Изменение медианных значений показателя UCF по региональным центрам

По значениям показателя UCF можно сделать вывод, что для АЭС МЦ есть существенные возможности для повышения энергогенерации. На **рис. 14** видно, что медианные значения для нашего центра близки к 85%-му значению и находятся на 3-м месте среди остальных РЦ лишь чуть более на 1% опередив ПЦ. На текущий момент имеются возможности для дальнейшего повышения значений этого показателя, но, по большому счету, эти возможности минимальны и определены подходами к организации ремонтных работ на АЭС МЦ.

В то же время, на **рис. 15** приведены графики с разницей значений лучшего и худшего квартилей по РЦ. Здесь первенство также, как и изменение медианных значений показателя **UCF**, принадлежит АЦ. Но для АЭС МЦ также характерно относительно близлежащее расположение квартильных значений (лучшего и худшего квартилей) и свидетельствует об относительно хорошей загруженности блоков АЭС по генерации электроэнергии.

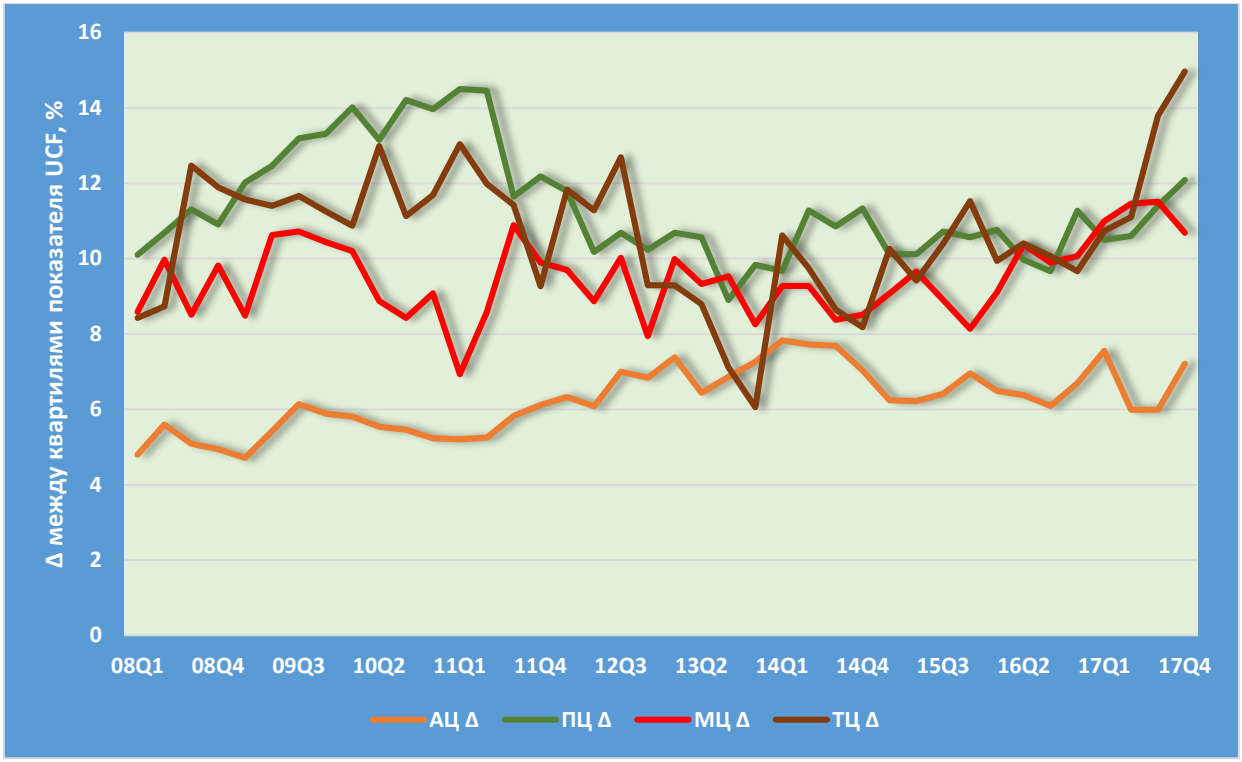


Рис. 15 Разница (Δ) между границами лучшего и худшего квартилей по показателю **UCF** среди региональных центров

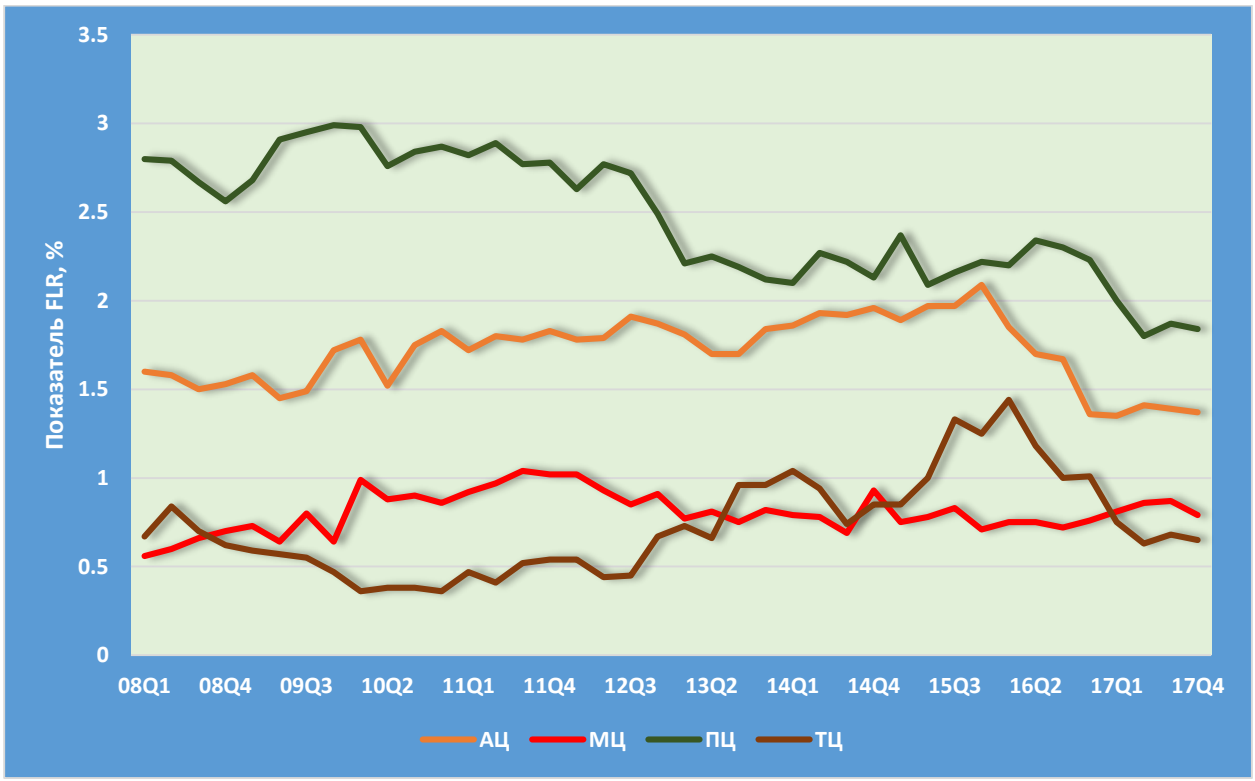


Рис. 16 Медианы **FLR** по региональным центрам

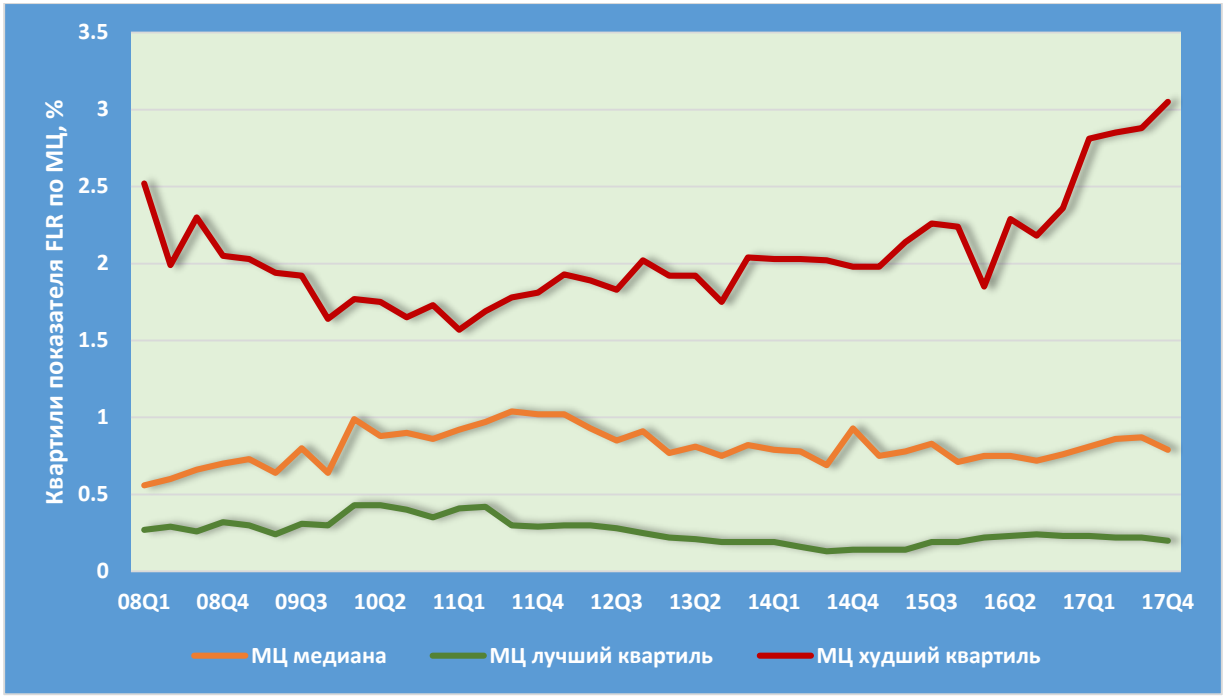


Рис. 17 Изменение квартилей показателя **FLR** для МЦ

Что касается вынужденных отказов оборудования (**рис. 16**) – они случаются и это четко видно на графике. Тем не менее, для МЦ характерно относительно низкая доля потерь энерговыработки на вынужденные отказы. На конец 2017 года медианное значение соответствовало 0,8% от общей генерации и занимало 2-е место после ТЦ. Если же рассмотреть более подробно непосредственно только МЦ (**рис. 17**), то мы видим, что значение медианы незначительно, но подросло (негативный момент) и существенно увеличилось значение границы худшего квартиля (на конец 2017 года оно было равно 3,05%). Сдвиг худшего квартиля объясняется состоянием эксплуатации 6 блоков МЦ, имеющих значение показателя **FLR** в диапазоне от 8 до 18%.

Для дальнейшего анализа на элементном уровне была сделана выборка значений по МЦ за последние 10 лет для показателей **FLR** и **UCF**. Целью такого анализа было группирование блоков по временному интервалу нахождения в соответствующих квартилях (худший и лучший). Условия для проведения анализа:

- рассматривается сам факт нахождения блока/АЭС в квартиле в соответствующий год,
- расчетный цикл – 36 месяцев;
- рассматривались данные только на конец соответствующего года (т.е., данные только за 4-й квартал);
- для показателя UCF проводился анализ только по нахождению в лучшем квартиле;
- если все блоки АЭС находились/не находились в соответствующем квартиле, то приводится наименование конкретной АЭС без указания номера блока. Результаты анализа представлены в **таблицах 10** (данные по показателю **FLR**) **и 11** (данные по показателю **UCF**).

Таблица 10

Не были в соответствующих квартилях	В течение 3 и более лет	В течение 5 и более лет	В течение 10 лет	Примечание
Худший квартиль				
Калининская 2	Курская 4	Курская 3	Курская 1	Ровенская 4 – 1 раз в 2008; Богунице 4 – 1 раз в 2008; Тяньвань 1 – 1 раз в 2009; Курская 2 – 1 раз в 2017; Калининская 2 – в течение 9 лет; Куданкулам 1 – в течение 2 лет с момента ввода в промышленную эксплуатацию.
Ленинградская 2	Калининская 4	Калининская 1	Нововоронежская 5	
Балаковская 1	Ленинградская 3	Калининская 3		
Балаковская 3	Нововоронежская 4	Ленинградская 1		
Дукованы 1	Балаковская 2	Ленинградская 4		
Хмельницкая 1	Смоленская 3	Смоленская 1		
Тяньвань 2	Бушер 1	Смоленская 2		
Кольская 2	Темелин 1	Ровенская 3		
Билибинская АЭС	Темелин 2	Южно-Украинская 2		
Запорожская АЭС	Южно-Украинская 1	Хмельницкая 2		
АЭС Пакш	Южно-Украинская 3	Армянская 2		
АЭС Козлодуй	Дукованы 2			
АЭС Моховце	Дукованы 3			
АЭС Ловииса	Белоярская 3			
	Кольская 4			
Лучший квартиль				
Кольская 3	Балаковская 3	Билибинская 1	Билибинская 3	
Пакш 2	Хмельницкая 1	Билибинская 2		
Дукованы 4	Хмельницкая 2	Билибинская 4		
Южно-Украинская 2	Ровенская 2	Балаковская 1		
Южно-Украинская 3	Ровенская 3	Балаковская 4		
Нововоронежская 5	Кольская 2	Ровенская 1		
Белоярская 3	Кольская 4	Ровенская 4		
Армянская 2	Пакш 1	Кольская 1		
Бушер 1	Ловииса 2	Пакш 4		
Смоленская АЭС	Запорожская 4	Дукованы 1		
АЭС Темелин	Южно-Украинская 1	Ловииса 1		
АЭС Куданкулам	Козлодуй 5	Запорожская 5		
Калининская АЭС	Козлодуй 6	Запорожская 6		
Ленинградская АЭС	Тяньвань 1	Тяньвань 2		
Курская АЭС		Богунице 3		
Ростовская АЭС		Богунице 4		

Таблица 11

Не были в соответствующем квартиле	В течение 3 и более лет	В течение 5 и более лет	В течение 10 лет
Лучший квартиль			
Кольская 3,4	Балаковская 2	Пакш 2	Моховце 1
Дукованы 2	Тяньвань 2	Пакш 3	Моховце 2
Нововоронежская 5	Ленинградская 2	Пакш 4	Ловииса 1
Калининская 1,3,4	Козлодуй 6	Балаковская 1	Ловииса 2
Ровенская 2,3,4	Дукованы 1	Балаковская 3	
Хмельницкая АЭС	Дукованы 3	Балаковская 4	
Белоярская АЭС	Дукованы 4	Ростовская 1	
Южно-Украинская АЭС	Билибинская 2	Ростовская 2	
Запорожская		Козлодуй 5	
АЭС Куданкулам		Богунице 3	
АЭС Бушер		Богунице 4	
АЭС Темелин			
Армянская АЭС			

Результаты анализа:

Коэффициент вынужденных потерь электроэнергии FLR

- наилучшие результаты принадлежат Билибинской АЭС: ее блоки не входили в худший квартиль и принадлежали лучшему квартилю в течение более 5 лет, а блок 3 был единственным среди АЭС МЦ, который находится в лучшем квартиле в течение 10 лет. Такое положение объяснить малой мощностью блоков и, соответственно, относительно низкими нагрузками на оборудование АЭС.

- также лучшие результаты принадлежат АЭС Восточно-Европейской части МЦ: это АЭС Ловииса, Козлодуй и Пакш, а также АЭС Тяньвань. Их блоки не входили в состав худшего квартиля в течение 10 лет и большей частью они были представлены в лучшем квартиле в диапазоне 3 – 5 лет в среднем.

- на следующем уровне хороших результатов разместились следующие АЭС: Богунице, Балаковская, Запорожская, Кольская, Хмельницкая. Некоторые их блоки с минимальным вкладом были представлены в худшем квартиле и в бóльшей степени фигурировали в лучшем квартиле.

- к удовлетворительным значениям показателя, характеризующего вынужденные отказы оборудования, относятся такие АЭС, как Темелин, Белоярская, Южно-Украинская, Ростовская. Для этих АЭС уже необходимо предпринимать дальнейшие действия, чтобы улучшить безопасность эксплуатации и повысить производственную эффективность.

- среди АЭС, которые требуют бóльшего внимания для повышения безопасности при эксплуатации стоит отнести все АЭС с реакторами типа РБМК, а также некоторые с ВВЭР – Калининская, Бушер, Армянская, Нововоронежская, Куданкулам.

Коэффициент готовности блока АЭС UCF

- наилучшие результаты принадлежат АЭС Моховце и Ловииса: их блоки входят в состав лучшего квартиля в течение 10 последних лет, при этом 2-я словацкая АЭС – Богунице, также показывает наилучшие результаты (ее 3-й блок находится в лучшем квартиле с 2010 года, а 4-й – с 2011 года).

- в общей картине принадлежности блоков АЭС лучшему квартилю просматривается взаимосвязь с типом РУ ВВЭР-440. Ее модифицированные варианты показывают стабильно высокие результаты производства электроэнергии на восточно-европейских АЭС. Сюда, помимо описанных выше, относятся блоки АЭС Пакш (2,3,4) и АЭС Дукованы (1,3,4). С другой стороны, ряд однотипных блоков украинской (Ровенская АЭС) и российской (Кольская АЭС) энергокомпаний либо отмечены единичными вхождениями в лучший квартиль (Ровенская 1, Кольская 1,2), либо совсем никогда туда не попадали (Ровенская 2, Кольская 3,4).

- среди проектов ВВЭР-1000 стоит отметить стабильно хорошую работу Балаковской АЭС (все ее блоки входят в состав лучшего квартиля на протяжении более 3 лет), Ростовской АЭС и АЭС Козлодуй. Отдельно стоит прогресс, который показывают блоки АЭС Тяньвань. На этой станции также был проделан комплекс мероприятий, направленных на улучшение производственных показателей, и с 2014 года блок 2 стабильно входит в состав лучшего квартиля, а блок 1 находится на протяжении 2 лет.

- хорошие результаты показывают отдельные блоки различных российских АЭС, но при этом этот подход нельзя назвать системным, так как результаты не являются стабильными (в скобках указано количество лет нахождения в лучшем квартиле): Смоленская 2 (1) и 3 (2), Курская 1 и 3 (по 1 году), Ленинградская 3 (2), Калининская 2 (2), Кольская 1 и 2 (по 1 году), Нововоронежская 4 (1).

- из негативного момента стоит отметить ряд АЭС, блоки которых не попадали в состав лучшего квартиля. Это АЭС: Хмельницкая, Белоярская, Южно-Украинская, Запорожская, Темелин, Бушер, Армянская, Куданкулам.

Еще одной характеристикой безопасной эксплуатации блоков АЭС является срабатывание АЗ. В системе показателей ВАО АЭС за мониторинг частоты срабатывания АЗ на блоках отвечают два показателя: **UA7** и **US7**. При чем первый учитывает только автоматические срабатывания АЗ, а второй рассматривает комплексно, то есть учитывает в дополнение к автоматическим срабатываниям также и срабатывания, инициируемые персоналом в ручном режиме. В целом по МЦ ситуация со срабатыванием АЗ на АЭС носит относительно спокойный характер. Сравнение средних данных по показателю **UA7** среди региональных центров показана на **рис. 18**. А такое же сравнение, но для показателя **US7** показано на **рис. 19**.

В количественном выражении самих фактов срабатывания АЗ по МЦ данные приведены в **таблице 12**.

Из графиков на **рис. 18** и **19** и из **таблицы 12** видно, что число срабатываний АЗ по МЦ относительно мало по сравнению с остальными региональными центрами. В количественном отношении число срабатываний АЗ за 10-ти летний период уменьшается и в среднем составляет величину 0,26 срабатываний на 1 блок, то есть 1 срабатывание на 1 блок за 4 года.

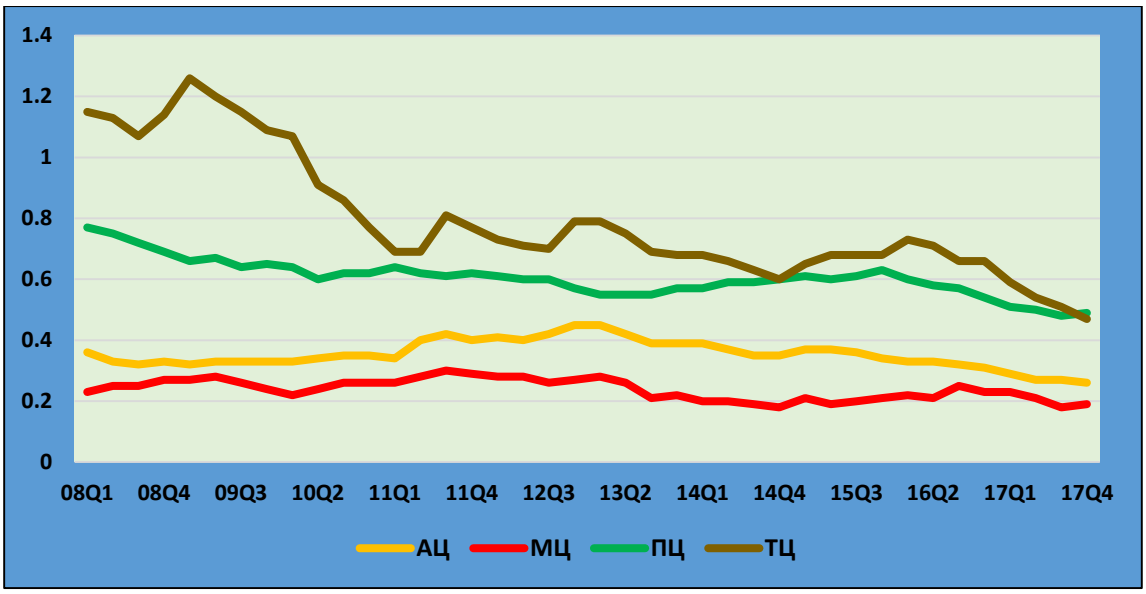


Рис. 18 Изменение средних значений показателя UA7 по региональным центрам

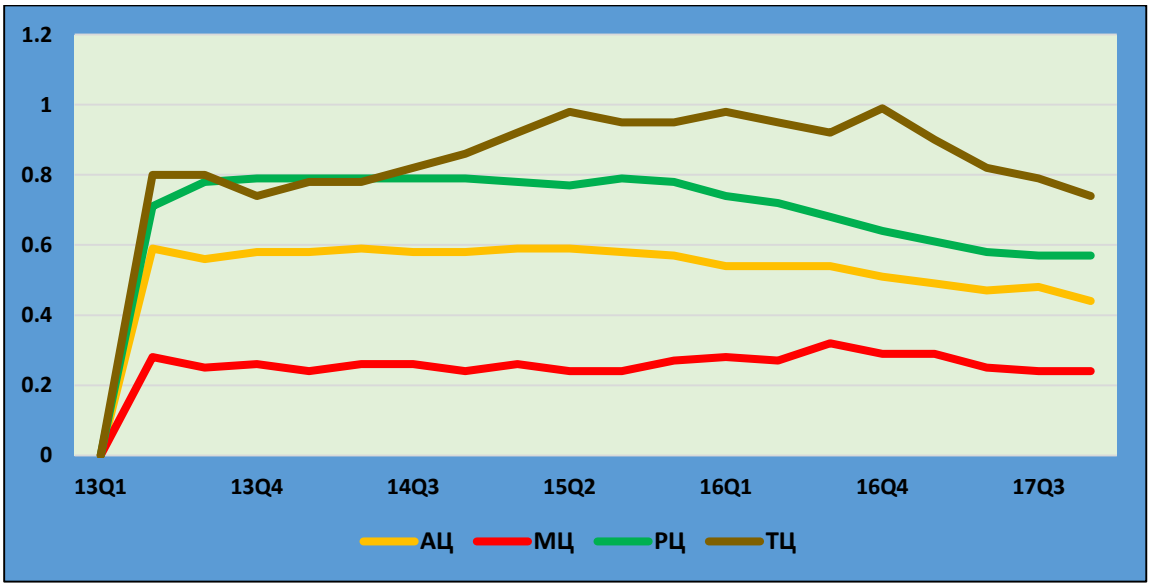


Рис. 19 Изменение средних значений показателя US7 по региональным центрам

Таблица 12

Срабатывание АЗ	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Автоматические срабатывания	16	15	22	19	14	15	13	15	17	7+2*
Ручные срабатывания	0	0	0	0	7	3	3	7	3	3
Количество блоков АЭС	66	66	66	67	68	69	69	71	71	73+5*
Общее число срабатываний отнесенное к количеству блоков в МЦ	0,24	0,23	0,33	0,28	0,31	0,26	0,23	0,31	0,28	0,15
* с учетом данных по ФГУП «Атомфлот»										

4.2 Обзор всех производственных показателей ВАО АЭС

В подразделе подробно рассматриваются все ПЭР ВАО АЭС для АЭС МЦ, а также приведены данные по изменению медианных значений и значений границ худшего квартиля среди АЭС МЦ за 5-ти летний период. Все данные взяты с 36-ти месячным расчетным циклом, за исключением данных по надежности топлива **FRI** – для них выбран 3-х месячный расчетный цикл. Для показателей по мониторингу срабатывания АЗ (**UA7** и **US7**) вместо медианных значений используется средние значения.

Исходя из статистических подходов, заложенных в программу «ПЭР ВАО АЭС», всегда будут блоки АЭС, попадающие как в лучший, так и в худший квартиль. Этого не изменить. С точки зрения мониторинга, важно отслеживать именно динамику изменения значения границ квартилей.

Для определения блоков АЭС, которым необходимо уделять больше внимания для повышения производственной эффективности рассмотрена предыстория 3-х летнего эксплуатационного периода, начиная с последнего квартала 2017 года. Отмечены блоки АЭС, которые длительное время (50% и более времени от рассматриваемого 3-х летнего периода) не изменяют свое местонахождение в квартилях «худший» и «ниже медианы».

4.3 UCF – Коэффициент готовности энергоблока

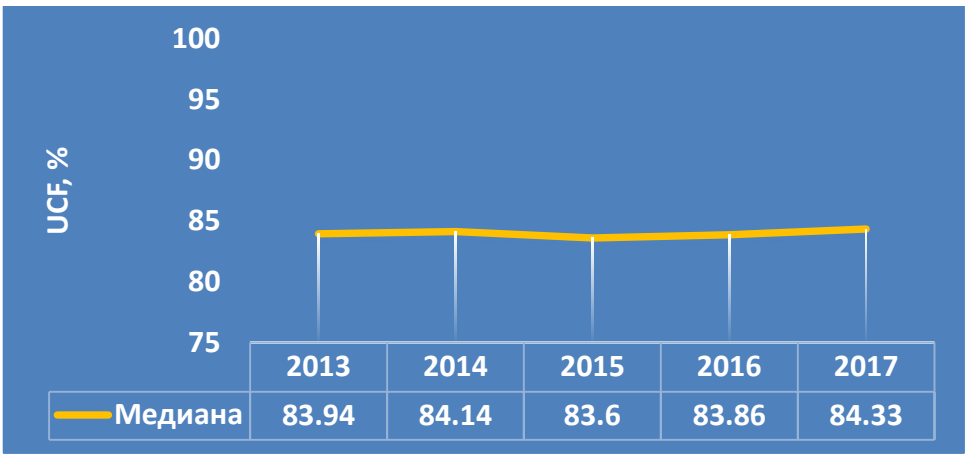


Рис. 20 График изменения медианных значений для ВАО АЭС – МЦ для показателя UCF на протяжении 5-ти летнего периода

На **рис.20** показано изменение медианных значений по ВАО АЭС – МЦ для основного показателя, характеризующего энерговыработку АЭС. Этот показатель характеризует потенциальную возможность в части улучшения эффективности производства электроэнергии.

Более подробный анализ этого показателя был выполнен в разделе 4.1.

4.4 UCLF – Коэффициент неготовности энергоблока

Рис. 21 График изменения значений медианы и границы худшего квартиля для ВАО АЭС – МЦ для показателя UCLF на протяжении 5-ти летнего периода

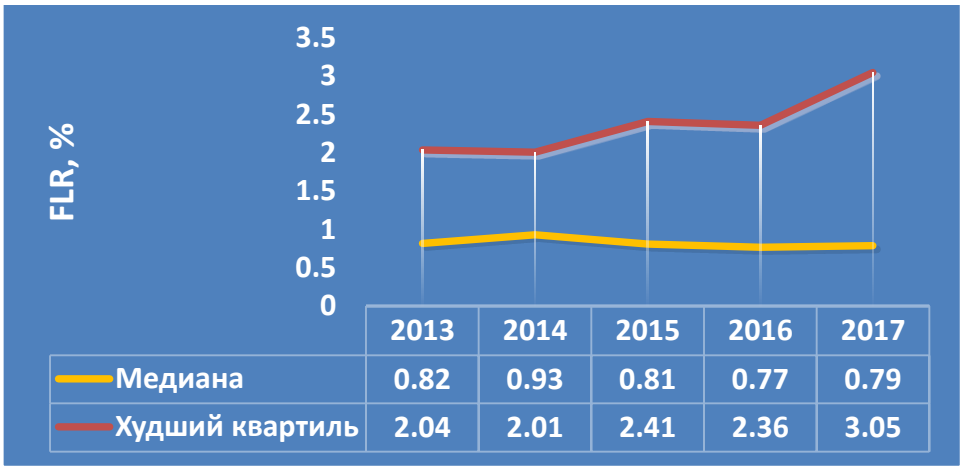
На **рис.21** мы видим, что значения границ худшего квартиля по недовыработкам электроэнергии (показатель **UCLF**) на протяжении 5-ти лет постоянно увеличиваются. Если в 2012 году значение составляло около 2% от общей генерации, то на текущий момент оно находится в диапазоне 2,5% и более.

При этом медианные значения по недовыработкам электроэнергии почти остаются неизменными. Это говорит о том, что положительный эффект обусловлен также хорошей динамикой значений границ лучшего квартиля. Это связано с реализацией различных подходов по эффективности безаварийной энерговыработки.

Коэффициент неготовности блока также включает составляющую по перепростоям в плановых ремонтах. Эта доля потенциальной энерговыработки (нереализуемой) также изменяется из года в год. За 2017 год общее время перепростоев в плановых ремонтах составило величину около 1,605 ТВт*час, что равно приблизительно 0,4% (в 2016 году эта величина составила 2,2%) от общей генерации по ВАО АЭС – МЦ в 2017 году.

Среди блоков АЭС дополнительное внимание может быть обращено к эксплуатационным режимам на следующих блоках:
Дукованы 1,2,3 - блоки находится в худшем квартиле в течение более 2-х летнего периода: блок 1 – начиная с 15Q4, блок 2 - начиная с 15Q2, блок 3 - начиная с 14Q4.
Нововоронежская 5 – блок находился в худшем квартиле в течение более 5-ти лет, начиная с 12Q1. С 17Q4 значения показателя незначительно улучшилось и на текущий момент значения соответствуют квартилю – ниже медианы.
Темелин 1,2 – блок 2 находится в худшем квартиле в течение более 5-ти летнего периода, начиная с 12Q1. Блок 1 с 12Q1 находится в квартиле ниже медианы, периодически попадая в худший квартиль.
Курская 2 – с 15Q2 наблюдался постоянный негативный тренд (с квартиля «хуже медианы») и начиная с 17Q2 блок находится в худшем квартиле.
Калининская 3,4 – блоки находятся в худшем квартиле в течение 5-ти/4-х летнего периода: блок 3, начиная с 12Q1; блок 4 находится в худшем квартиле, начиная с 14Q1.
Бушер 1 – блок находится в худшем квартиле, начиная с 15Q1.
Куданкулам 1 – блок находится в худшем квартиле, начиная с 15Q1.

4.5 FLR – Коэффициент вынужденных потерь электроэнергии



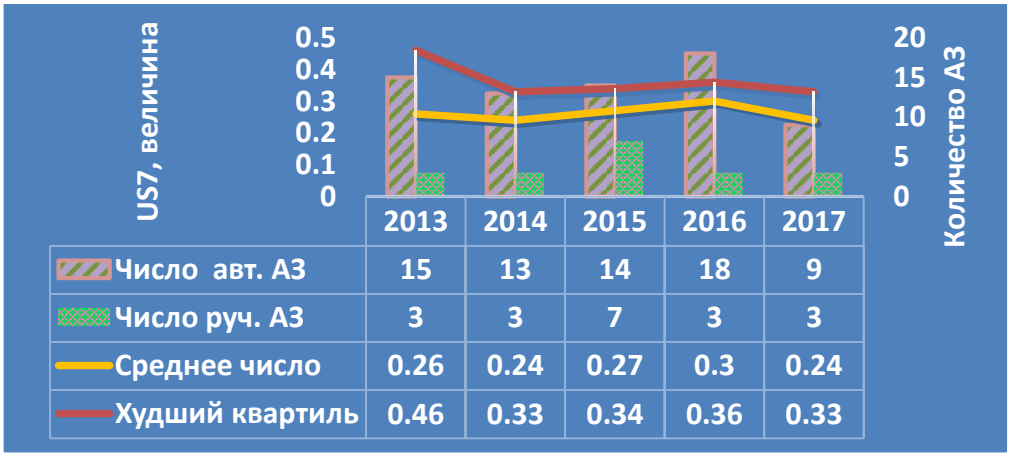
	2013	2014	2015	2016	2017
Медиана	0.82	0.93	0.81	0.77	0.79
Худший квартиль	2.04	2.01	2.41	2.36	3.05

Рис. 22 График изменения значений медианы и границы худшего квартиля для ВАО АЭС – МЦ для показателя FLR на протяжении 5-ти летнего периода

На **рис.22** мы видим, что диапазон между границами худшего квартиля и медианного значения для показателя вынужденных потерь электроэнергии (**FLR**) на протяжении 5-ти лет незначительно, постоянно увеличивается. При этом соблюдается относительное равновесие в отклонении от условного среднего значения. Если положительная динамика медианных значений составляет порядка 4%, то ухудшение значений для границы худшего квартиля составляет величину около 50%. В переводе на общие данные по ВАО АЭС – МЦ, за 2017 год общая потеря выработки электроэнергии вследствие вынужденных отказов составила величину порядка 13,274 ТВт*час.

Более подробный анализ этого показателя был выполнен в разделе 4.1.

4.6 UA7 и US7 - Неплановые автоматические аварийные остановы реактора на 7000 часов критического состояния и неплановые аварийные остановы реактора в критическом состоянии на 7000 часов (автоматическое + ручное)



	2013	2014	2015	2016	2017
Число авт. АЗ	15	13	14	18	9
Число руч. АЗ	3	3	7	3	3
Среднее число	0.26	0.24	0.27	0.3	0.24
Худший квартиль	0.46	0.33	0.34	0.36	0.33

Рис. 23 График изменения данных, связанных со срабатывание аварийных защит на блоках АЭС на протяжении 5-ти летнего периода

На **рис. 23** представлены данные за 5-ти летний период по изменению средней величины показателя US7, а также границы худшего квартиля. Кроме этого, на графике количественно представлены факты срабатывания АЗ на блоках ВАО АЭС – МЦ. Фактические данные по количеству срабатывания АЗ на АЭС Московского центра в 2017 году приведены в **табл. 13**.

Таблица 13

П/п	Станция	Блок	Дата	Количество и вид инициирования защиты (база данных DES)	
				автоматический	ручной
17Q1					
1	Ровенская	3	2017	1	
17Q2					
2	Ленинградская	4	2017	1	
17Q3					
3	Кольская	4	2017		1
4	Ровенская	4	2017	1	
5	Ленинградская	3	2017	1	
6	Куданкулам	2	2017		1
7	Ловииса	2	2017		1
8	Вайгач (Атомфлот)	-	2017	1	
17Q4					
9	Вайгач (Атомфлот)	-	2017	1	
10	Тяньвань	1	19.10.2017	1	
11	Куданкулам	1	10.12.2017	1	
12	Хмельницкая	2	2017	1	
Итого	11 АЭС			9	3
				12	

Как мы видим, в последнее время количество фактов инициирования срабатывания АЗ на блоках АЭС снижается, что говорит о хорошей положительной динамике данного показателя.

При сравнении с общемировым уровнем ВАО АЭС – МЦ в части данного показателя находится в относительно удовлетворительном положении. Среднее значение показателя по региональному центру в 2 раза ниже общемирового и процент достижения индивидуальной и отраслевой целей также является самым высоким среди ВАО АЭС – 97,1% и 82,9% соответственно.

4.7 GRLF - Коэффициент недовыработки по причинам, связанным с работой энергосистемы

Как правило, медианное значение данного показателя для ВАО АЭС – МЦ и для мира носит нулевое значение. При этом, все-таки ежеквартально в среднем около 18-19 блоков АЭС имеют общую недовыработку по данному показателю около **2,8%**/квартал. За 2017 год

общие потери энерговыработки по данному показателю составили **0,6%** (**0,026 ТВт*час**) от общей генерации по МЦ.

4.8 Работоспособность систем безопасности: САОЗ ВД (SP1), систем аварийной питательной воды (SP2), аварийного энергоснабжения (SP5)

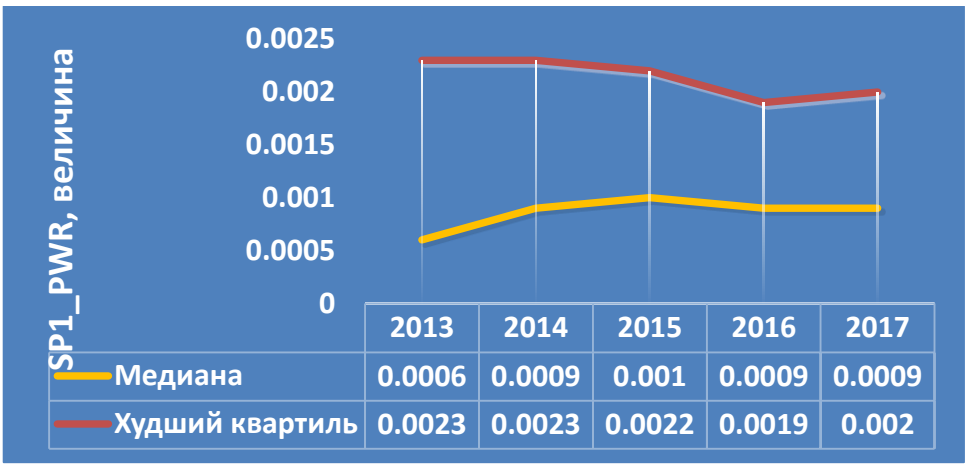


Рис. 24 График изменения значений медианы и границы худшего квартиля для ВАО АЭС – МЦ для показателя SP1 группы реакторов PWR на протяжении 5-ти летнего периода

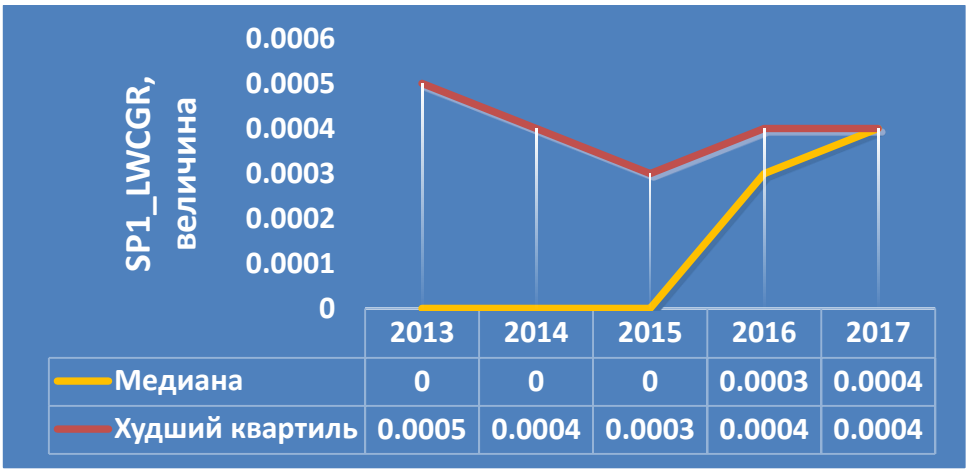


Рис. 25 График изменения значений медианы и границы худшего квартиля для ВАО АЭС – МЦ для показателя SP1 группы реакторов РБМК на протяжении 5-ти летнего периода

Рис. 26 График изменения значений медианы и границы худшего квартиля для ВАО АЭС – МЦ для показателя SP2 группы реакторов PWR на протяжении 5-ти летнего периода

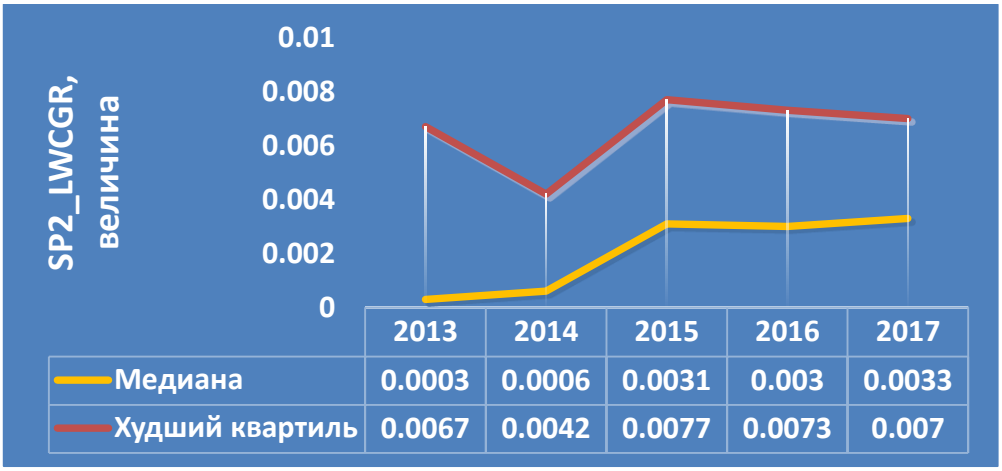


Рис. 27 График изменения значений медианы и границы худшего квартиля для ВАО АЭС – МЦ для показателя SP2 группы реакторов РБМК на протяжении 5-ти летнего периода

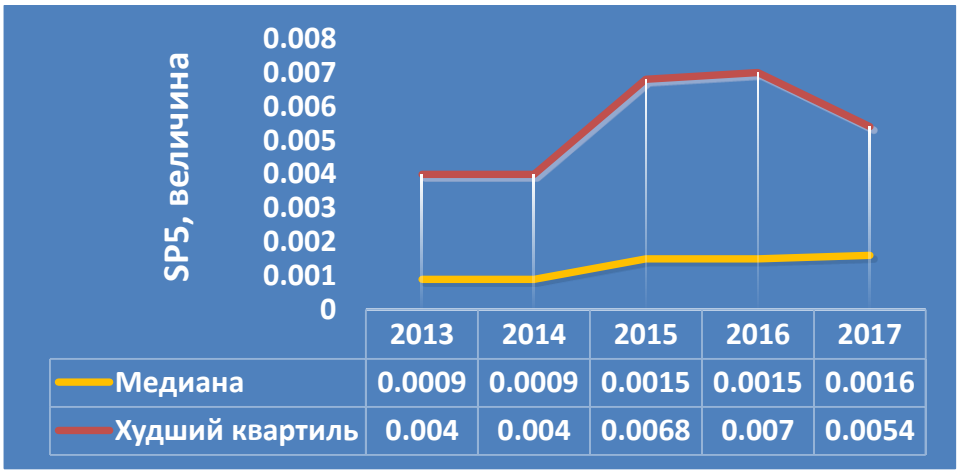


Рис. 28 График изменения значений медианы и границы худшего квартиля для ВАО АЭС – МЦ для показателя SP5 на протяжении 5-ти летнего периода

С целью мониторинга состояния готовности к выполнению возложенных функций безопасности были разработаны в свое время ряд показателей, отвечающих за

работоспособность оборудования СБ. На группе **рисунков с 24 по 28** приведены графики с данными по изменению значений медиан и границ худшего квартиля для ряда этих показателей. Эти показатели характеризуют работоспособное состояние следующих СБ:

SP1 – системы охлаждения активной зоны высокого давления (САОЗ ВД);

SP2 – системы аварийной и вспомогательной питательной воды;

SP5 – аварийное электроснабжение – дизель-генераторы СБ.

Для расчета этих показателей применяется довольно комплексный расчетный механизм, включающий ряд составных частей, характеризующих надёжность работы оборудования. Рассматриваются следующие виды неготовности к работе, а именно:

- плановая неготовность (запланированная деятельность на оборудовании СБ);
- неплановая неготовность (время неработоспособности оборудования к выполнению возложенных функций из-за отказов);
- неготовность вследствие скрытого отказа (элемент теории надёжности оборудования, также характеризующий возникающие отказы оборудования СБ).

В числовом исчислении данные по работоспособности СБ за 2017 год по ВАО АЭС – МЦ представлены в **таблице 14**.

Таблица 14. Общие данные по временам неработоспособности оборудования СБ за 2017 год

SP1 – системы охлаждения САОЗ ВД	
плановая неготовность, ч	5114.03
неплановая неготовность, ч	740.5
неготовность вследствие скрытого отказа, ч	1060
SP2 – системы аварийной и вспомогательной питательной воды	
плановая неготовность, ч	2318.08
неплановая неготовность, ч	380.77
неготовность вследствие скрытого отказа, ч	467.5
SP5 – аварийное электроснабжение –дизель-генераторы СБ	
плановая неготовность, ч	11447.1
неплановая неготовность, ч	2168.2
неготовность вследствие скрытого отказа, ч	701.3

Подход, реализуемый с помощью системы производственных показателей ВАО АЭС, не говорит о невыполнении функций безопасности оборудованием СБ в целом по блокам или АЭС. Этот подход позволяет оценить время неготовности оборудования СБ к выполнению возложенных функций и также помогает наметить улучшение как эксплуатационных, так и ремонтных практик на АЭС.

4.9 CRE – Коллективная доза радиационного облучения персонала

Следующая область мониторинга связана с радиационной безопасностью на АЭС, а более конкретнее, с тем потенциально опасным воздействием, которое оказывает ионизирующее излучение на персонал АЭС. Эта область включена в задачу показателя ВАО

АЭС – CRE, показателя коллективной дозы радиационного облучения персонала. На **рис. 29** и **30** представлены данные по изменению значений медианы и худшего квартиля для групп реакторов ВВЭР и РБМК на протяжении 5-ти летнего периода.

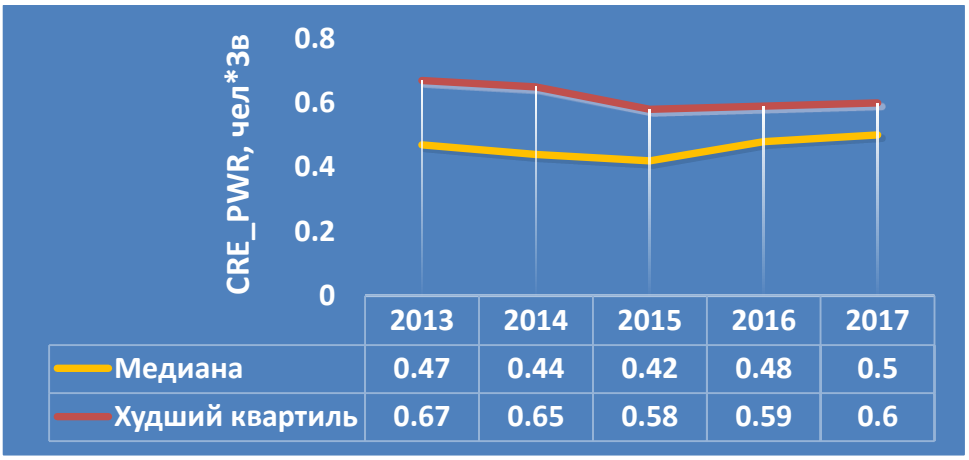


Рис. 29 График изменения значений медианы и границы худшего квартиля для ВАО АЭС – МЦ для показателя CRE группы реакторов PWR на протяжении 5-ти летнего периода

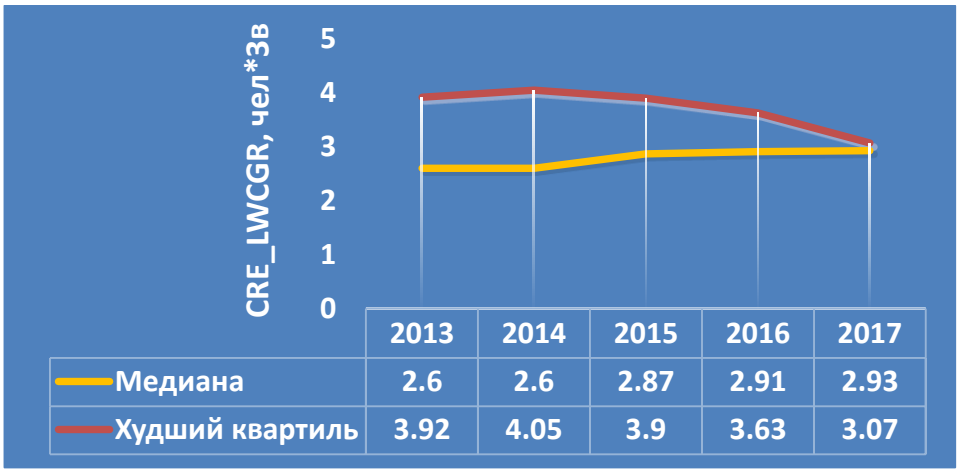


Рис. 30 График изменения значений медианы и границы худшего квартиля для ВАО АЭС – МЦ для показателя CRE группы реакторов РБМК на протяжении 5-ти летнего периода

Выполнение работ по продлению сроков эксплуатации блоков, модификации, и в то же время, имеющие место дефекты ядерного топлива и случаи разуплотнения оборудования с радиоактивными средами негативно отражаются на увеличении значений данного показателя. Эти данные четко прослеживаются на увеличении медианных значений особенно за последние несколько лет.

Если говорить в общих цифрах для ВАО АЭС – МЦ, то доза внешнего облучения персонала в 2017 году составляла величину **60,13 чел*Зв**, а величина внутреннего облучения составила **0,11 чел*Зв**. Общая величина коллективной дозы радиационного облучения персонала по региональному центру составила около **60,24 чел*Зв**.

Среди АЭС с ВВЭР, блоки которых длительное время (более 5-ти лет) находятся в худшем квартиле, можно выделить **Нововоронежскую (блоки 4,5), Южно-Украинскую (1,2,3), Армянскую (блок 2).** Также относительно высокие показатели характерны для **Кольской АЭС: блок 1** в худшем квартиле более 5-ти лет, а остальные **блоки 2,3,4** периодически перемещаются в диапазоне худшего квартиля и квартиля хуже медианы. Ухудшается ситуация по **блоку 1 Калининской АЭС**. Он находится в худшем квартиле, начиная с 16Q2 с негативным трендом. Среди блоков РБМК выделяется **Курская АЭС**, которая обладает самыми высокими показателями в своей группе.

4.10 FRI – Показатель надёжности ядерного топлива

На конец 2017 года можно сделать вывод, что усредненные данные по эксплуатационной надежности ядерного топлива выглядят удовлетворительно с небольшой положительной динамикой в сторону улучшения. На **рисунках 31** и **32** представлены изменения величин медианы и границ худшего квартиля для показателя надёжности ядерного топлива – **FRI**.

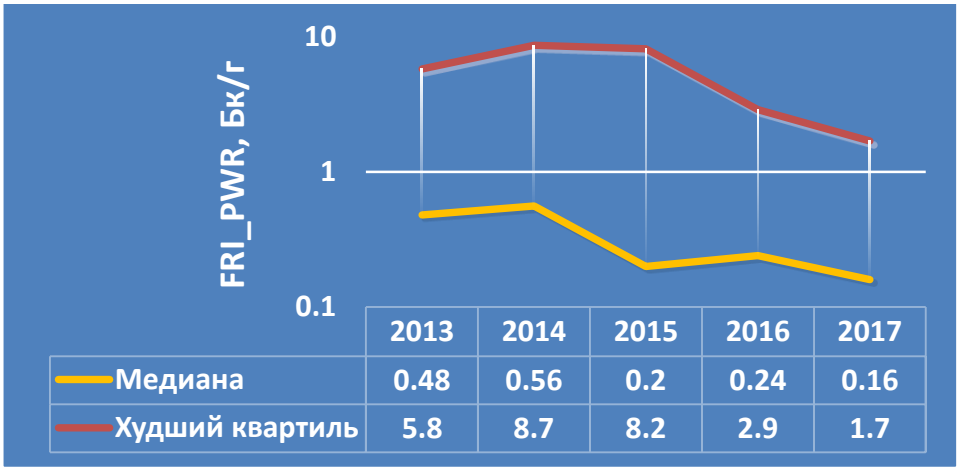


Рис. 31 График изменения значений медианы и границы худшего квартиля для ВАО АЭС – МЦ для показателя FRI группы реакторов ВВЭР на протяжении 5-ти летнего периода

Данные представлены для двух типов реакторных установок – ВВЭР и РБМК. Говоря о надёжности топлива, стоит отметить что рассматриваемые значения (медиана и граница худшего квартиля) находятся в приемлемой области – ниже границы дефектов топлива (для PWR – это 19 Беккерель/грамм), с незначительным положительным трендом.

В 4-ом квартале 2017 года самое высокое значение показателя FRI принадлежало блоку **1 Калининской АЭС**. Это значение более, чем в 25 раз превышало границу дефектов топлива. Среди остальных блоков с наиболее высокими значениями показателя можно выделить следующие: **Кольская 1,2** (с 12Q1), **Темелин 1,2** (с 13Q4).

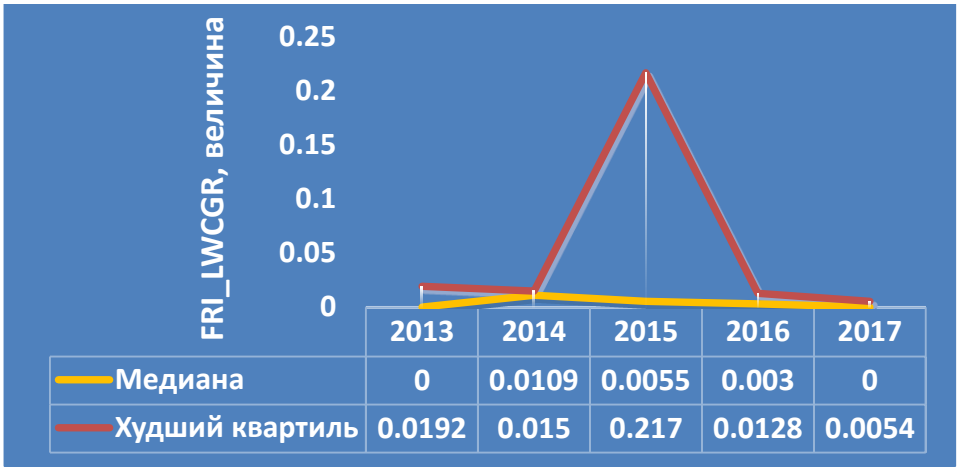


Рис. 32 График изменения значений медианы и границы худшего квартиля для ВАО АЭС – МЦ для показателя FRI группы реакторов РБМК на протяжении 5-ти летнего периода

4.11 CPI – Химический показатель

Текущие значения химического показателя для ВАО АЭС – МЦ находятся на приемлемом уровне. На сегодняшний день продолжается работа по модификации показателя. Планируемое окончание работ – 2018 год. Более подробное распределение значений показателя CPI для блоков АЭС МЦ можно увидеть в Приложении 1.

4.12 Общий показатель потерь рабочего времени в результате несчастных случаев персонала (TISA2), для станционного персонала (ISA2) и для персонала подрядных организаций (CISA2)

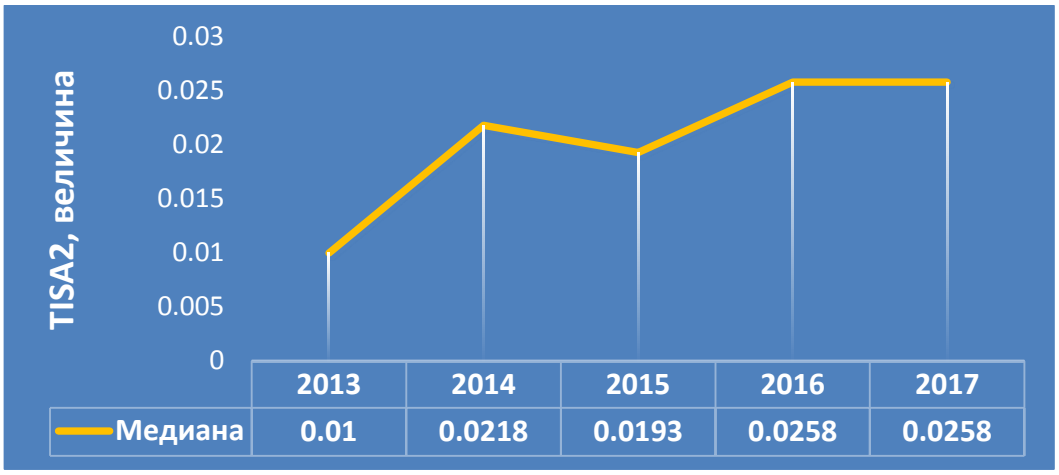


Рис. 33 График изменения медианных значений для ВАО АЭС – МЦ для показателя TISA на протяжении 5-ти летнего периода

С 2016 года в системе ПЭР ВАО АЭС был введен обобщенный показатель (**TISA2**) по потере рабочего времени среди всего персонала (персонал АЭС + подрядный персонал), вовлеченного в производственную деятельность АЭС. На **рис. 33** приведен график изменения медианного значения данного показателя на протяжении 5-ти летнего периода.

Среди АЭС, которые имеют наиболее высокие значения по показателям потерь рабочего времени, связанными с несчастными случаями выделяются АЭС европейской части Московского центра ВАО АЭС: **Ловииса**, **Пакш**, **Дукованы**, **Темелин**, **Моховце**, **Богунице и Бушер**, которые находятся в худшем квартиле на протяжении длительного времени (более 3-х лет).

К сожалению, текущая методика расчета показателей, косвенно характеризующих состояние охраны труда на АЭС и травматизм персонала, не позволяет сделать качественный анализ по отдельным случаям несчастных случаев. Так, например, несмотря на то, что вышеперечисленные АЭС обладают относительно худшими значениями показателей, на них не были отмечены смертельные случаи. А подобные случаи имели место на АЭС, входящих в ВАО АЭС – МЦ.

В 2017 году произошел 1 смертельный случай с персоналом подрядной организации (Ленинградская АЭС – 1 НС в 1-ом квартале).

Общее число НС в 2017 году распределилось следующим образом:

- число несчастных случаев, связанных с потерей рабочего времени и отсутствием на рабочем месте персонала предприятия, назначенного для работы на станции/подрядного персонала – 3/3;

- число несчастных случаев, связанных с ограничением способности к выполнению прежней работы в отношении персонала предприятия, назначенного для работы на станции/подрядного персонала – 18/23;

- число смертельных случаев на производстве, связанных с работой, проводимой персоналом предприятия, назначенного для работы на АЭС/подрядного персонала – 0/1.

Среднее значение показателей практически в 3-и раза ниже среднемирового значения.

5. Реализация программы «ПЭР ВАО АЭС» в ВАО АЭС – МЦ в 2017 г.

5.1 Задача программы ПЭР ВАО АЭС

В рамках реализации долгосрочного плана ВАО АЭС программа «Показатели эффективности работы АЭС» относится к первому направлению, а именно продолжение оказания поддержки и установление стандартов высоких производственных показателей для существующего в мире ядерного парка.

Для поддержания этого направления программа ПЭР ВАО АЭС решает основную задачу по проведению сбора и распространению информации по эксплуатационным показателям, чтобы дать возможность станциям ставить значимые цели, осуществлять контроль и измерение производственных показателей и способствовать сравнению своей работы с лучшими отраслевыми результатами.

Критерием осуществления этой задачи является повышение эффективности сбора данных путем улучшения отчетности и доработки определений эксплуатационных показателей с тем, чтобы 95% энергоблоков предоставляли качественные данные по всем эксплуатационным показателям.

На конец 2017 года можно сделать вывод, что 100% блоков передают качественные данные по всем эксплуатационным показателям.

5.2 Внутренние программные показатели (метрики)

На рис. 34 приведены данные по внутренним показателям (метрикам) программы ПЭР за 2017 год. Как видно из верхнего графика (число блоков и АЭС, не представляющих данные через 45 дней после окончания квартала) имеется одна область для улучшения, связанная со своевременной передачей данных со стороны АЭС в базу данных DES. В течение года имели место превышения установленного времени (45 дней) со стороны ряда АЭС:
3-й квартал – АЭС Козлодуй (блоки 5,6), Белоярская АЭС (блок 3), Калининская АЭС (блоки 2,3,4), Кольская АЭС (блоки 1,2,3,4).

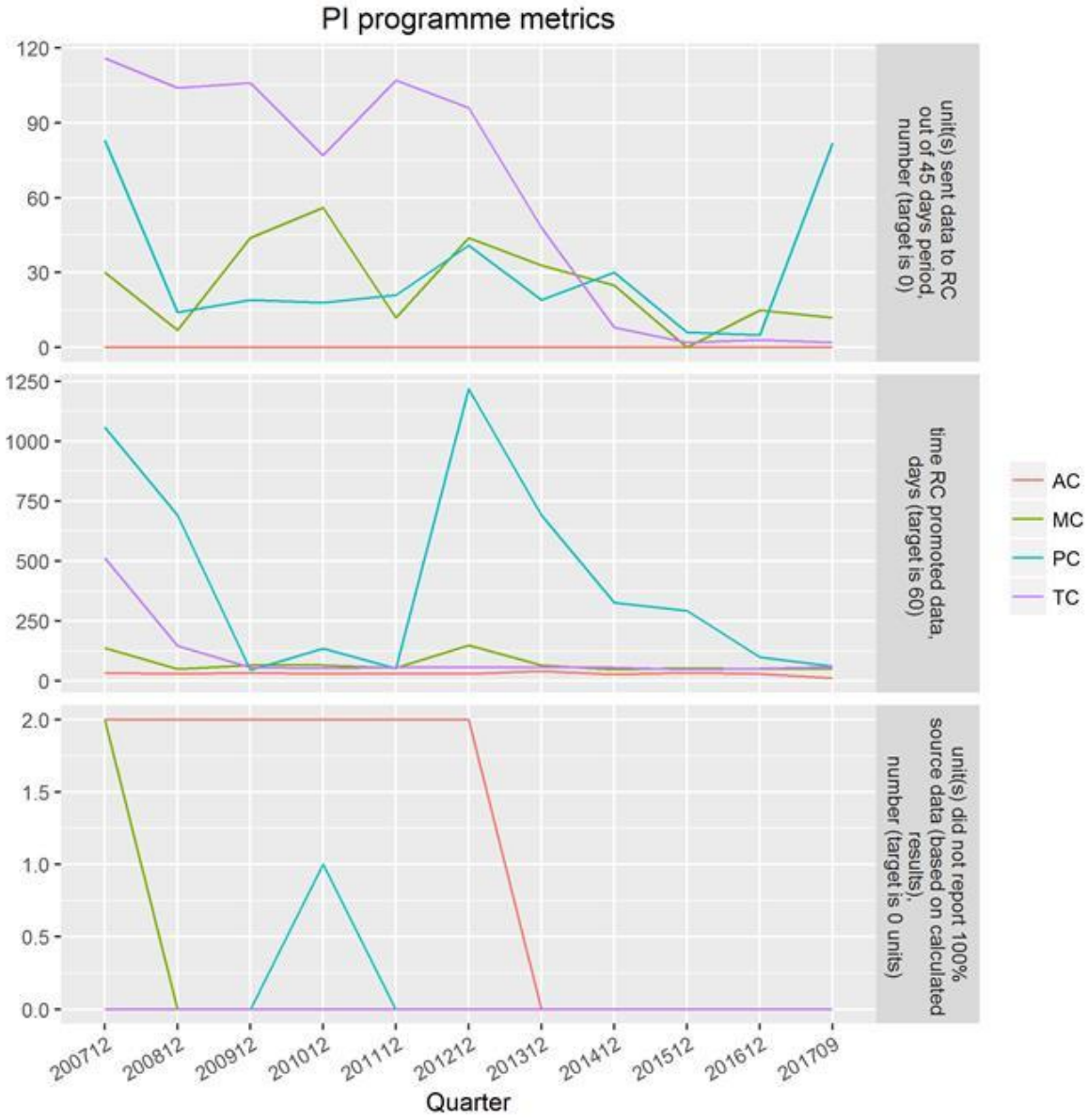


Рис. 34 Внутренние метрики программы

5.3 Состояние по выполнению запланированных на 2017 год мероприятий

В **таблице 15** приведено состояние по выполнению запланированных мероприятий по программе ПЭР на конец 2017 года.

Таблица 15

№	Мероприятия	Сроки	Комментарии
1.3.6.1	Сбор и анализ информации по показателям, 4 раза в год	2017	Выполняется ежеквартально
1.3.6.2	Согласование и корректировка данных в системе DES, 4 раза в год	2017	Выполняется ежеквартально
1.3.6.3	Подготовка материалов по показателям перед очередной Партнерской Проверкой, количество мероприятий - 7		
1.3.6.3.1	Подготовка материалов по показателям перед Партнерской Проверкой на Кольской АЭС	февраль 2017	Выполнено
1.3.6.3.2	Подготовка материалов по показателям перед Партнерской Проверкой на АЭС Дукованы	март 2017	Выполнено
1.3.6.3.3	Подготовка материалов по показателям перед Партнерской Проверкой на Армянской АЭС	август 2017	Выполнено
1.3.6.3.4	Подготовка материалов по показателям перед Партнерской Проверкой на АЭС Богунице	сентябрь 2017	Выполнено
1.3.6.3.5	Подготовка материалов по показателям перед Партнерской Проверкой на Смоленской АЭС	октябрь 2017	Выполнено
1.3.6.3.6	Подготовка материалов по показателям перед Партнерской Проверкой на Курской АЭС	ноябрь 2017	Выполнено
1.3.6.3.7	Подготовка материалов по показателям перед Партнерской Проверкой на АЭС Козлодуй	ноябрь 2017	Выполнено
1.3.6.4	Подготовка экспресс оценок АЭС, в части ПР, для проведения МТП, не менее 3 раза в год	2017	Выполняется ежеквартально на постоянной основе
1.3.6.5	Выполнение сравнительного анализа совместно с группой ОЭ по сходимости данных, не менее 2 раза в год	2017	Выполняется на постоянной основе

№	Мероприятия	Сроки	Комментарии
1.3.6.6	Проведение анализа показателей АЭС МЦ, 4 раза в год	2017	Выполняется ежеквартально на постоянной основе
1.3.6.7	Подготовка годового отчета по показателям	март 2018	Выполнено
1.3.6.8	Выявление АЭС, нуждающихся в поддержке, 4 раза в год	2017	Выполняется ежеквартально на постоянной основе
1.3.6.9	Проведение рабочих встреч на АЭС, нуждающихся в поддержке по программе ПР, 2 раза в год	2017	Выполнено. Курская АЭС – апрель, Калининская АЭС - декабрь
1.3.6.10	Подготовка сравнительного анализа по показателям по запросам АЭС и компаний, 4 раза в год	2017	Выполняется на постоянной основе
1.3.6.11	Проведение семинара по показателям ВАО АЭС с ответственными лицами от АЭС	июнь 2017	Выполнено
1.3.6.12	Участие в рабочей встрече в рамках сотрудничества ВАО АЭС и МАГАТЭ	2017	Выполнено
1.3.6.13	Взаимодействие по вопросам показателей с другими региональными центрами и Лондонским офисом	2017	Выполняется на постоянной основе
1.3.6.14	Бенчмаркинг с другими региональными центрами для обмена опытом по программе показателей, участие в семинарах или совещаниях по показателям в других региональных центрах и в Лондонском офисе.		Участие в семинарах РЦ ВАО АЭС не проводилось
1.3.6.14.1	Совещание по показателям работы	февраль 2017	Выполнено
1.3.6.14.2	Участие в семинаре по показателям работы	2017	Выполнено
1.3.6.15	Участие в процессе по определению категорий взаимодействия и оказания поддержки Московского центра ВАО АЭС	2017	Выполнено
1.3.6.16	Проведение работ по оптимизации целевого значения для показателя коллективной дозы радиационного облучения персонала для блоков АЭС с реакторами типа РБМК	2017	Выполнено частично. Планируется завершить работу в 2018 году

Стоит отметить, что в 2017 году были отмечены позитивные тенденции по развитию программы ПЭР и использованию ее результатов. Отмечалось более активное использование результатов отчетов по ПЭР как в секретариате ВАО АЭС – МЦ, так и во время других мероприятий ВАО АЭС. Это способствовало обращению дополнительного внимания со стороны руководства АЭС к показателям эффективности работы АЭС.

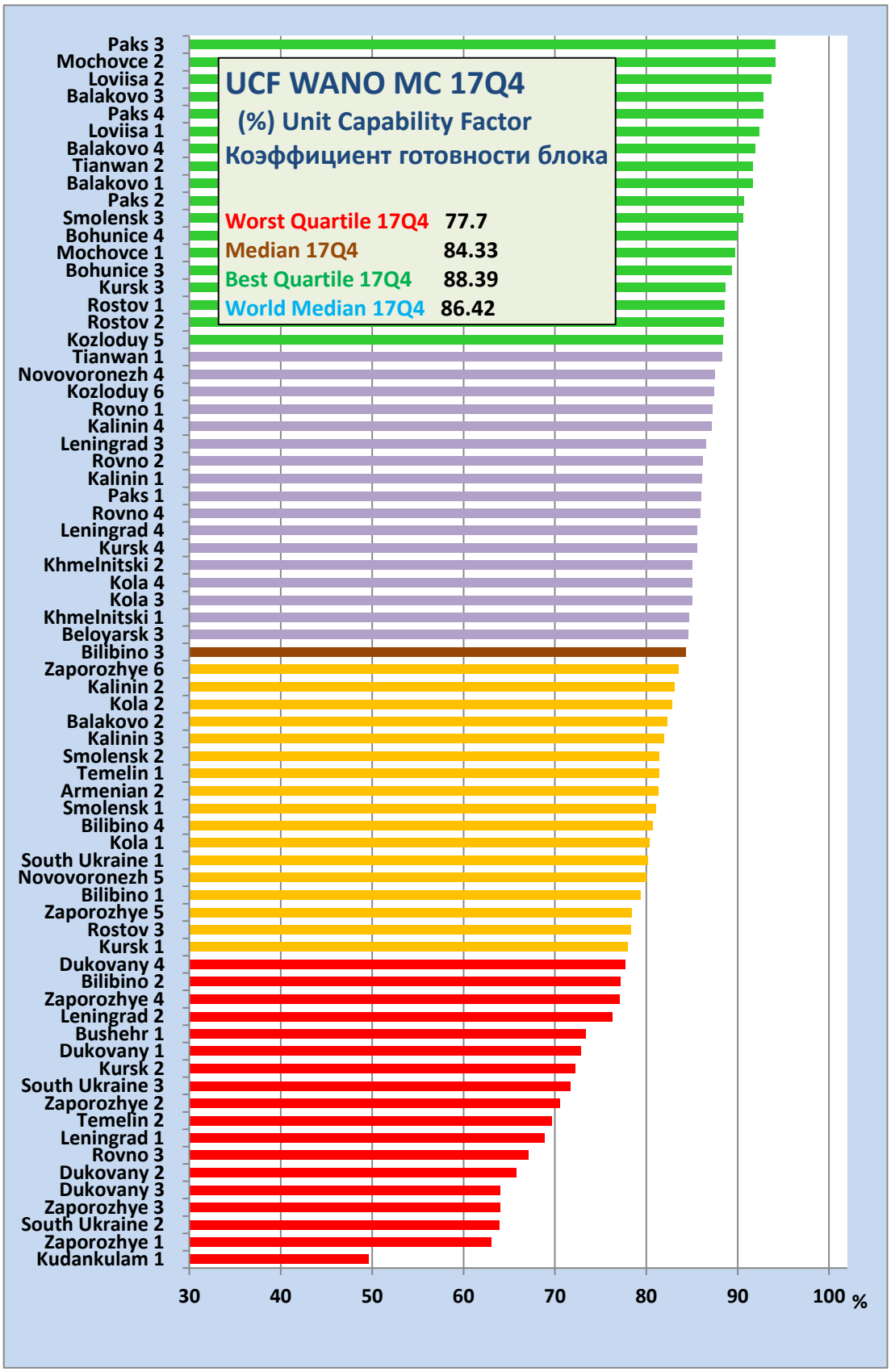
Дополнительно было осуществлено:

- были проведены ряд выездных мероприятий: 1 МТП по ПЭР (Курская АЭС, апрель 2017) и 1 рабочая встреча на Калининскую АЭС;
- результаты отчетов по ПЭР активно использовались в ходе ПП и ПИПП.

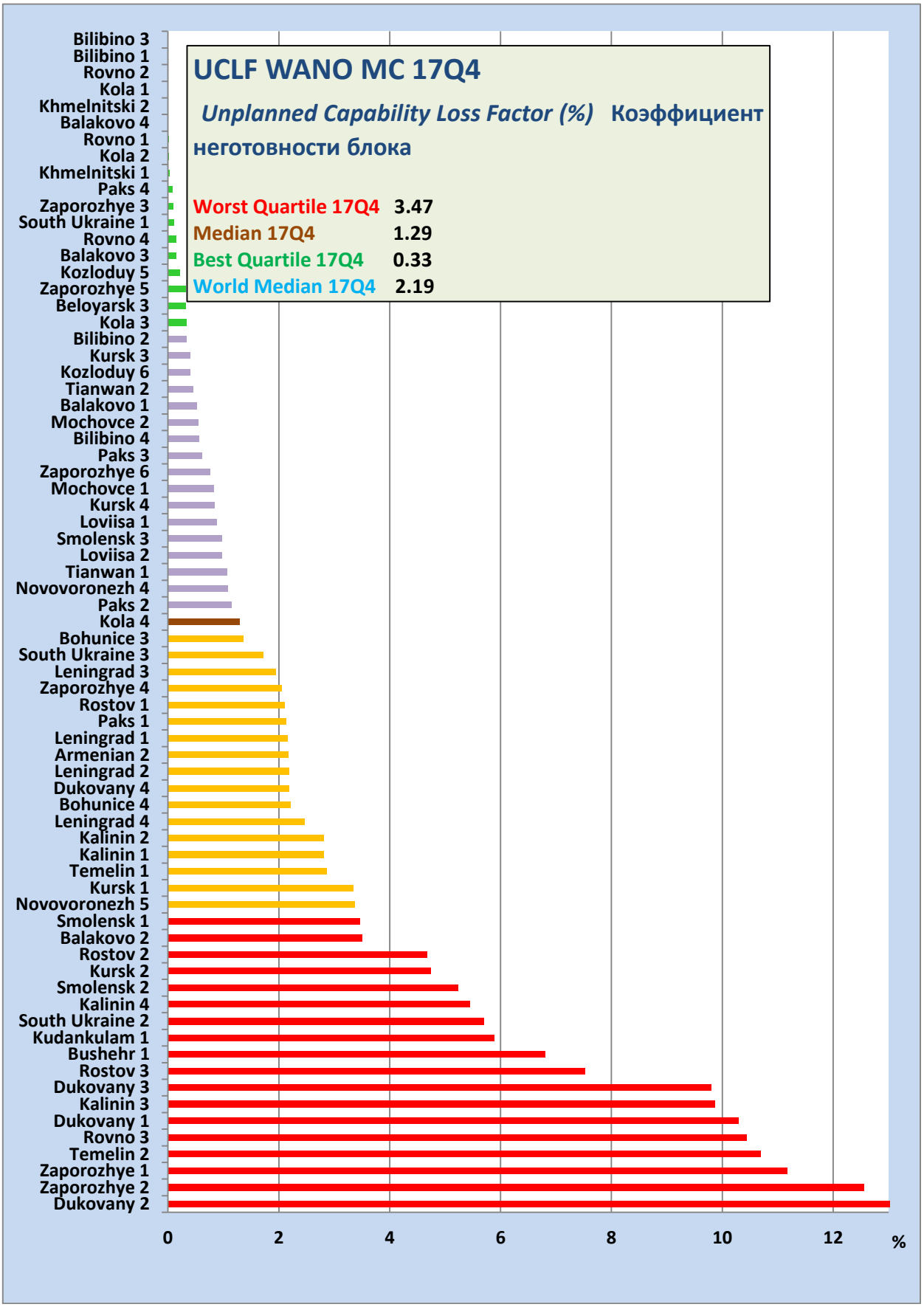
Приложение 1: Графики ПЭР ВАО АЭС в 4-м квартале 2017 г.

Производственные показатели по эффективности энерговыработки

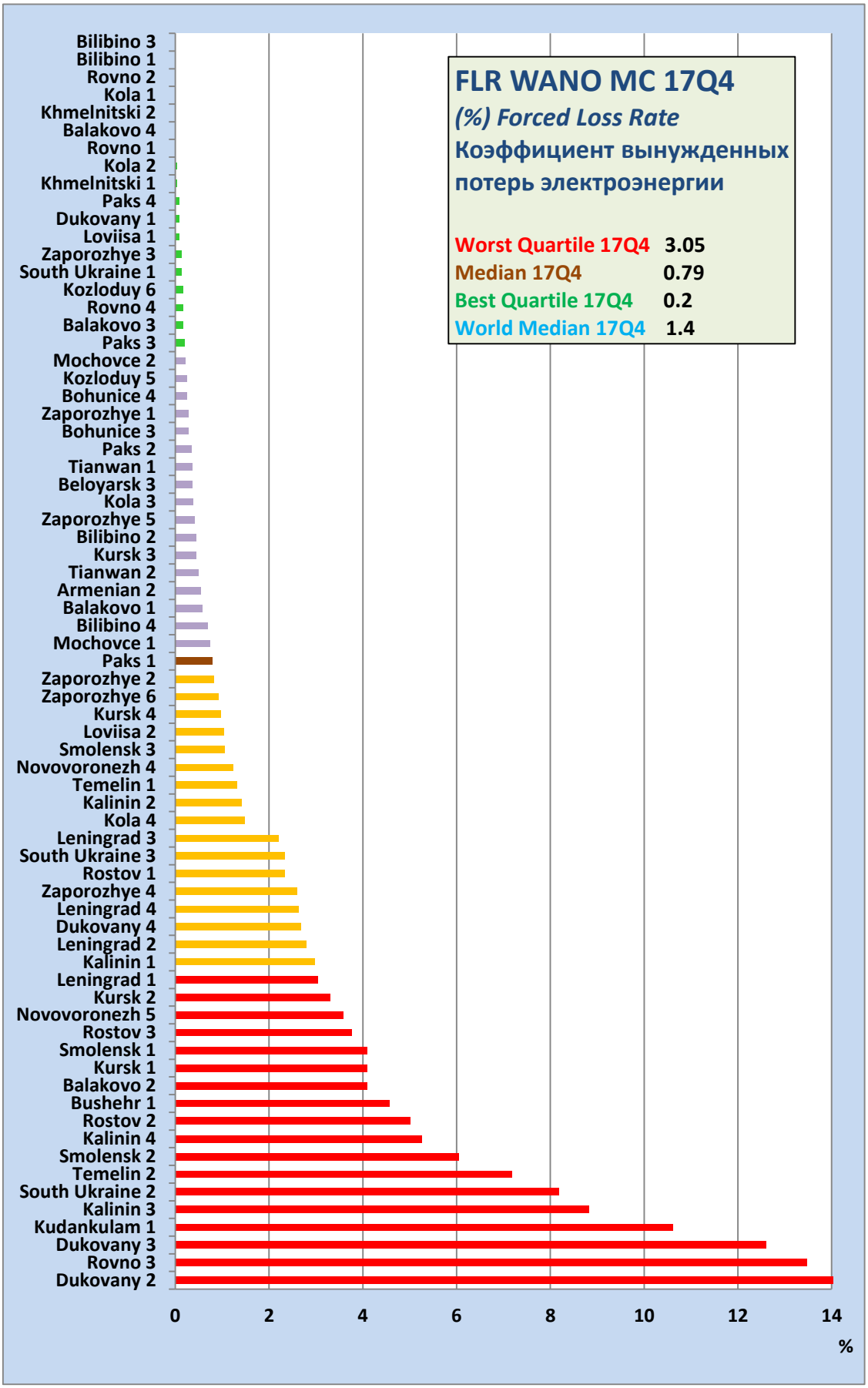
UCF - Коэффициент готовности энергоблока



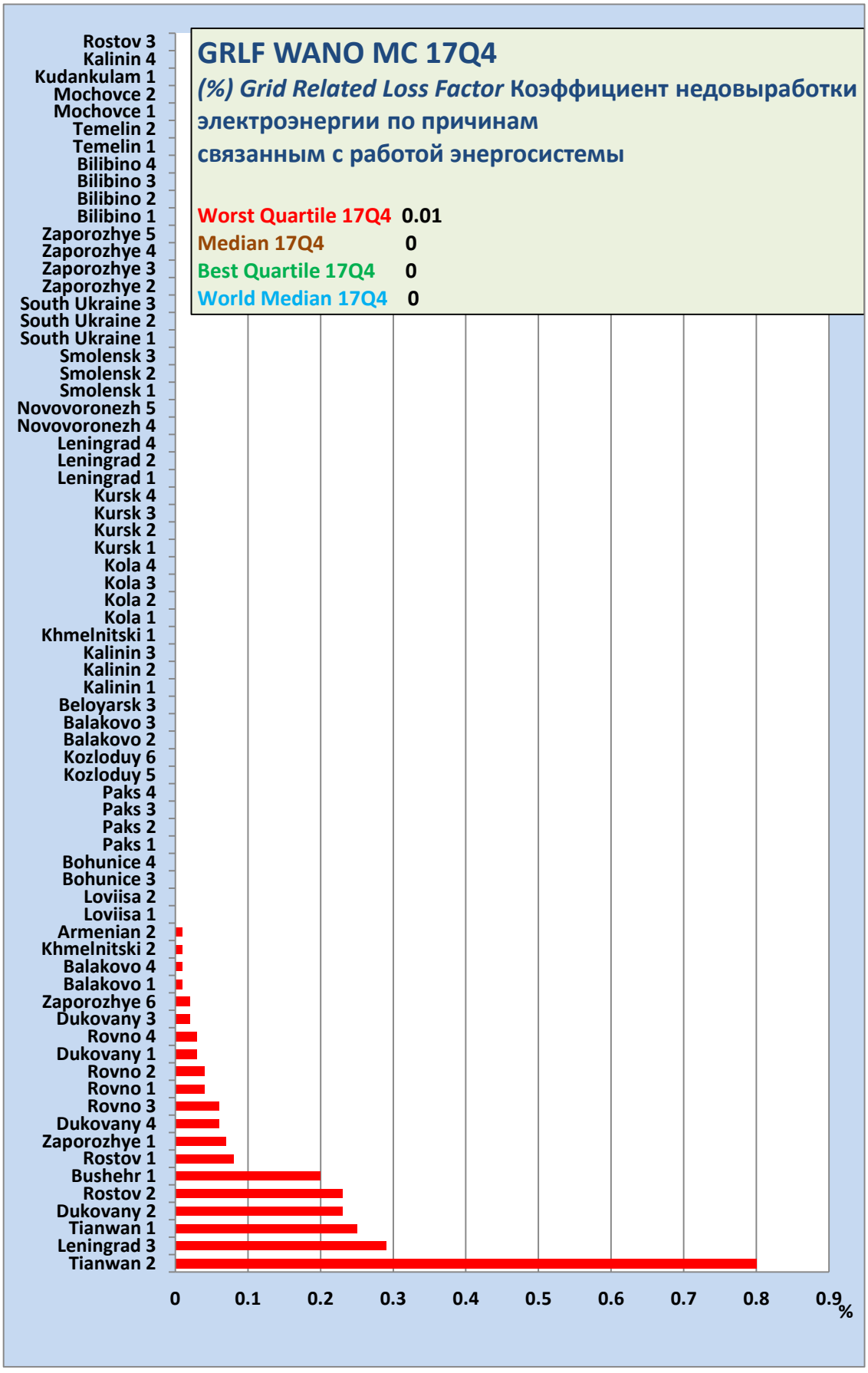
UCLF - Коэффициент неготовности энергоблока



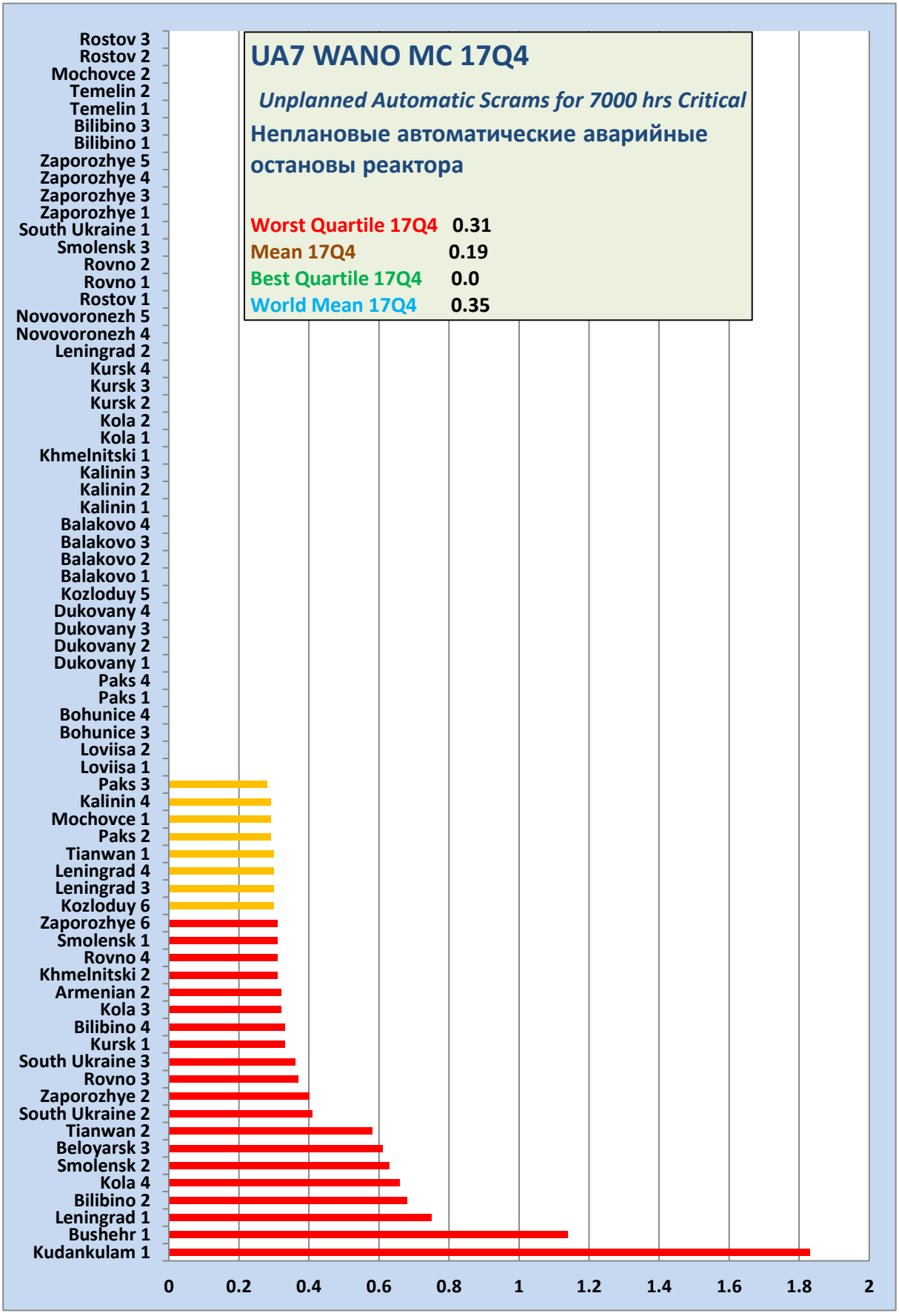
FLR - Коэффициент вынужденных потерь электроэнергии



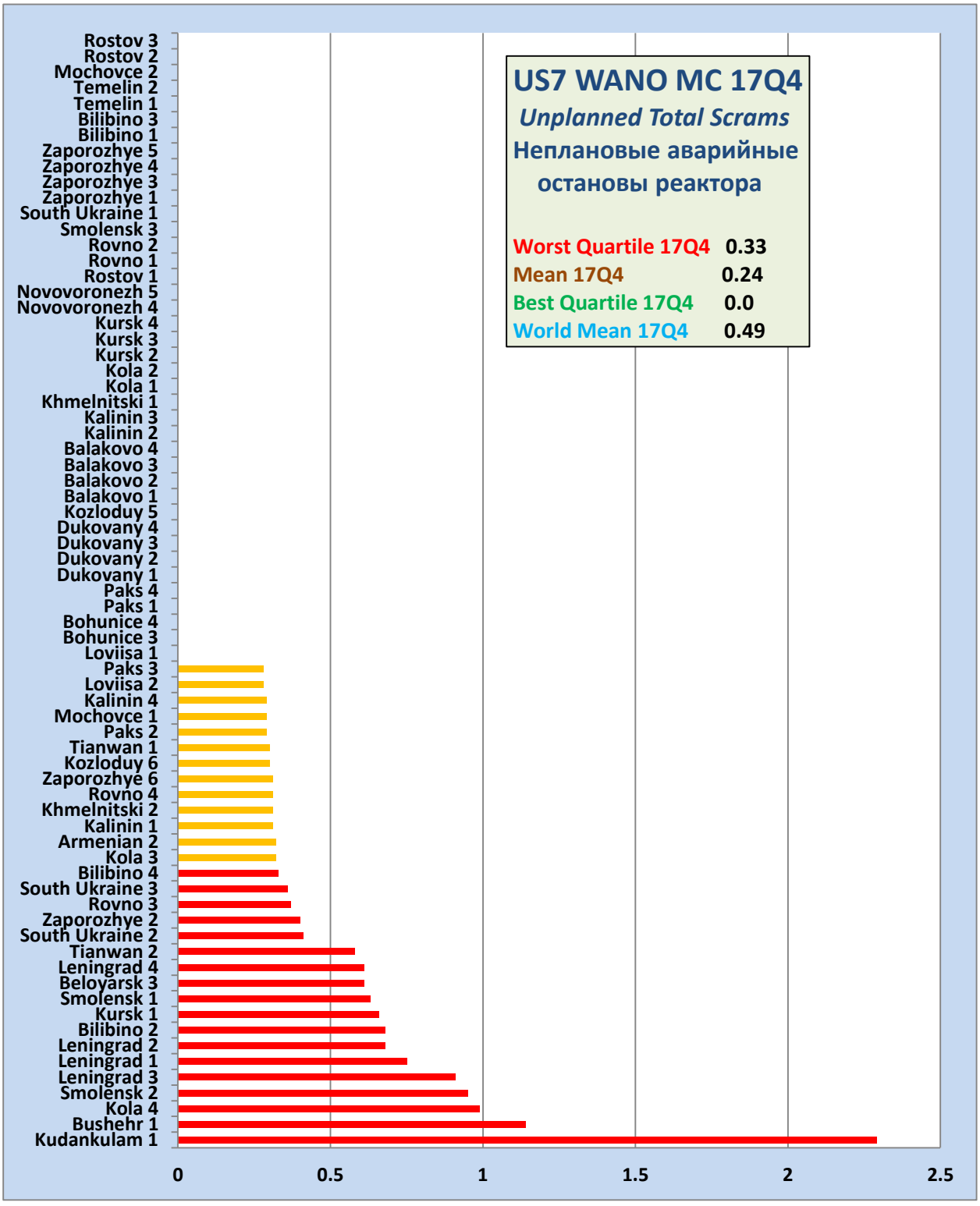
GRLF - Коэффициент недовыработки по причинам, связанным с работой энергосистемы



UA7 - Неплановые автоматические аварийные остановы реактора на 7000 часов критического состояния

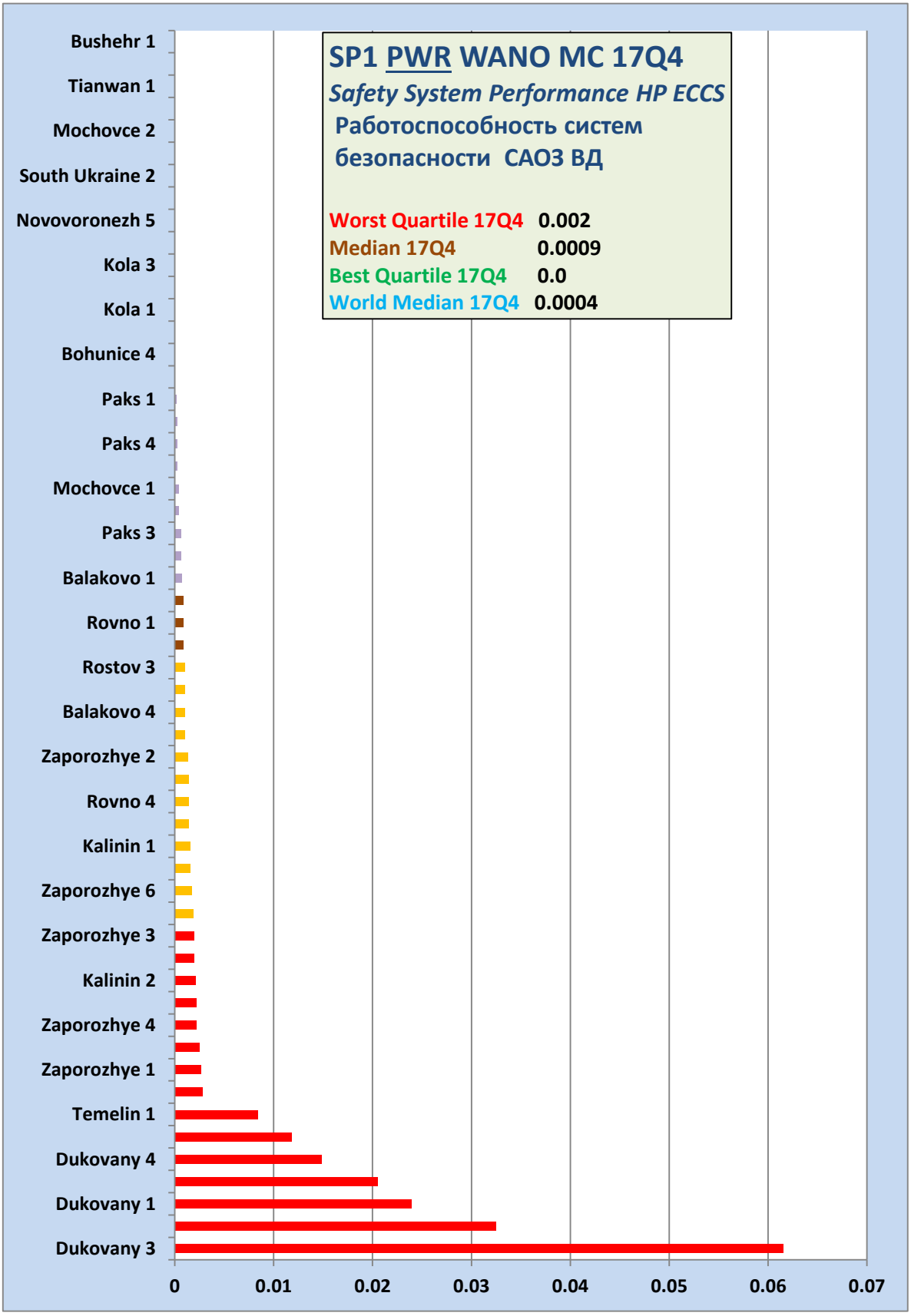


US7 - Неплановые аварийные остановы реактора в критическом состоянии (автоматическое + ручное)

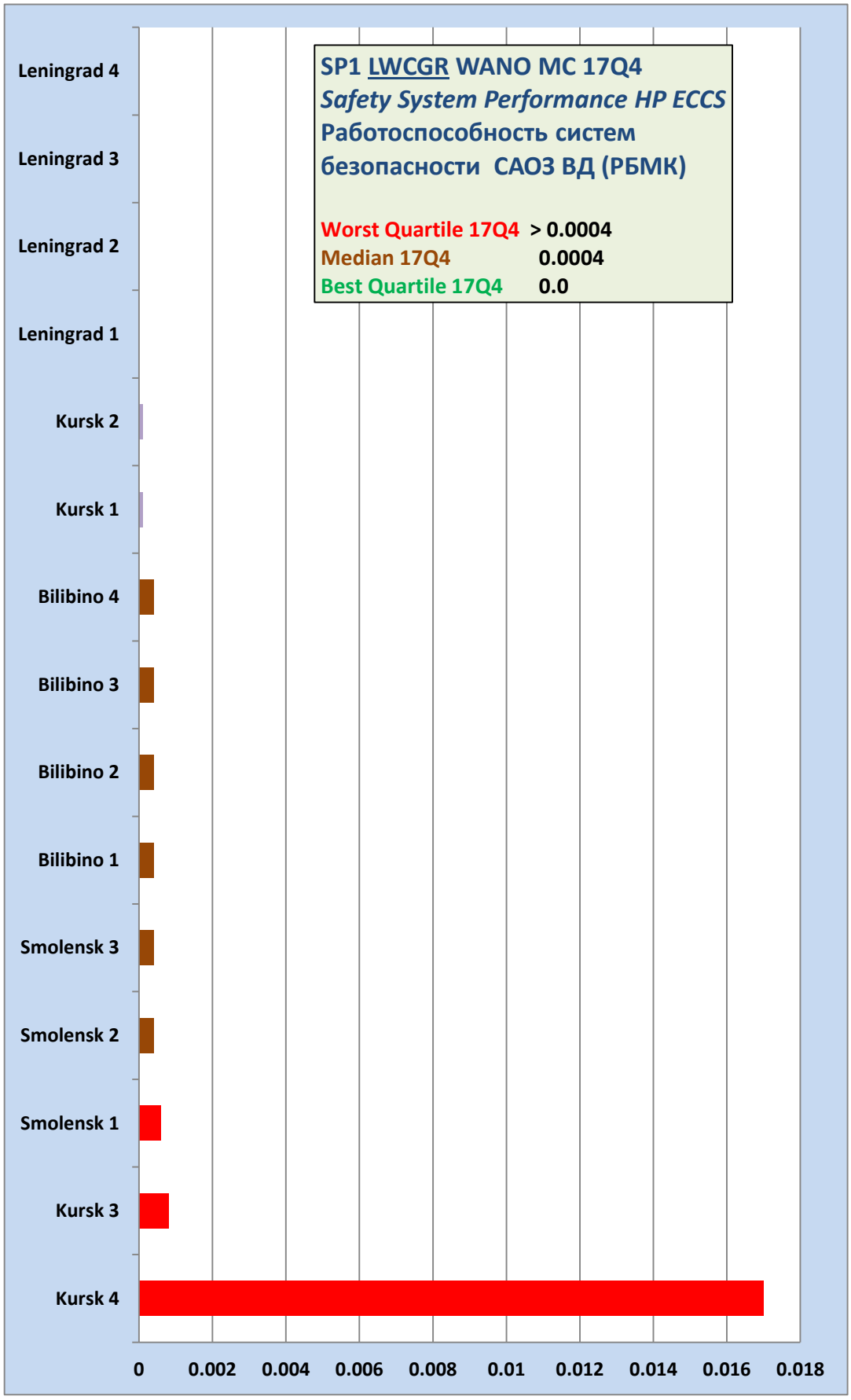


Показатели надёжности систем безопасности

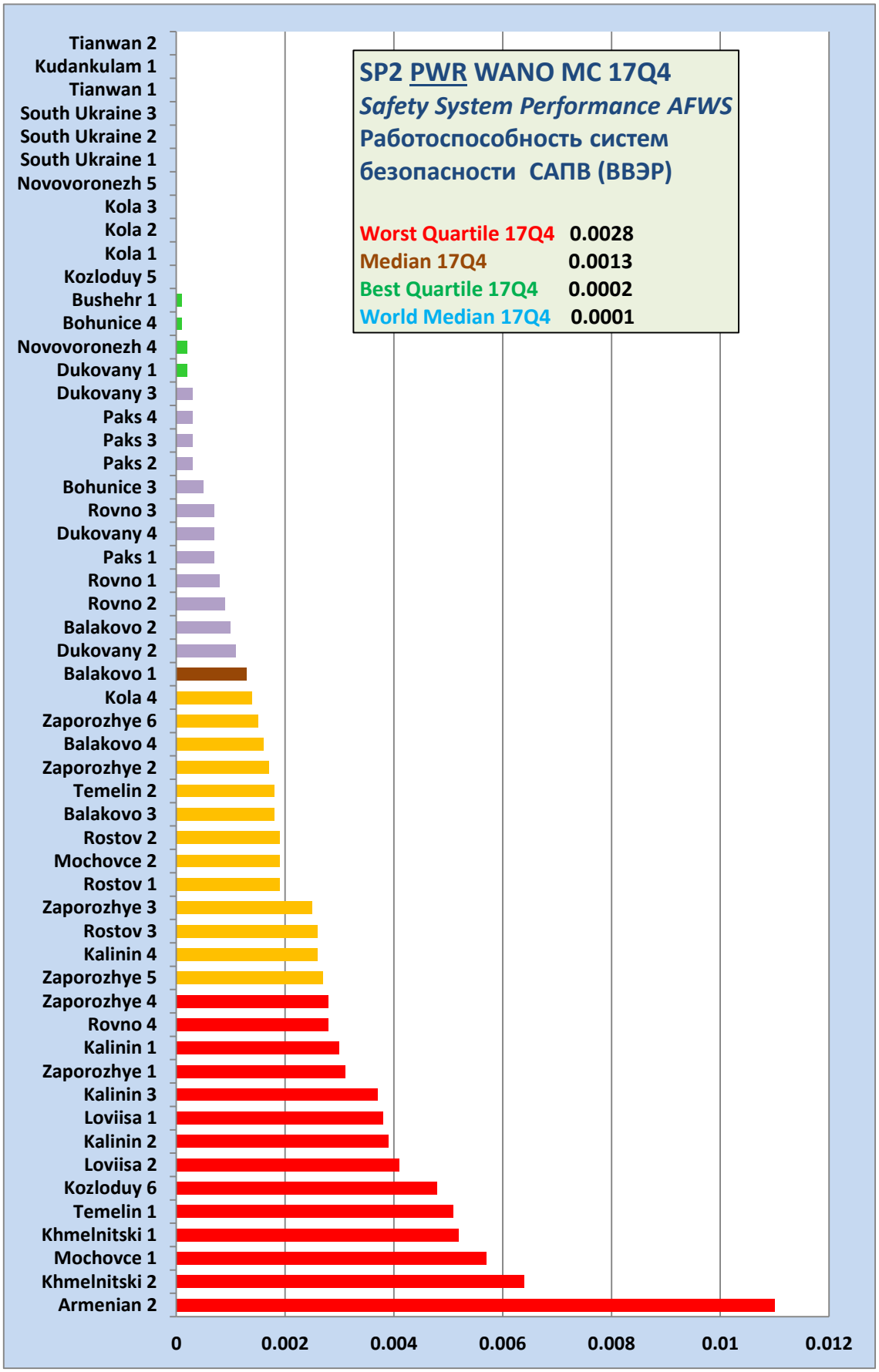
SP1 – Работоспособность систем аварийного охлаждения активной зоны высокого давления (ВВЭР)



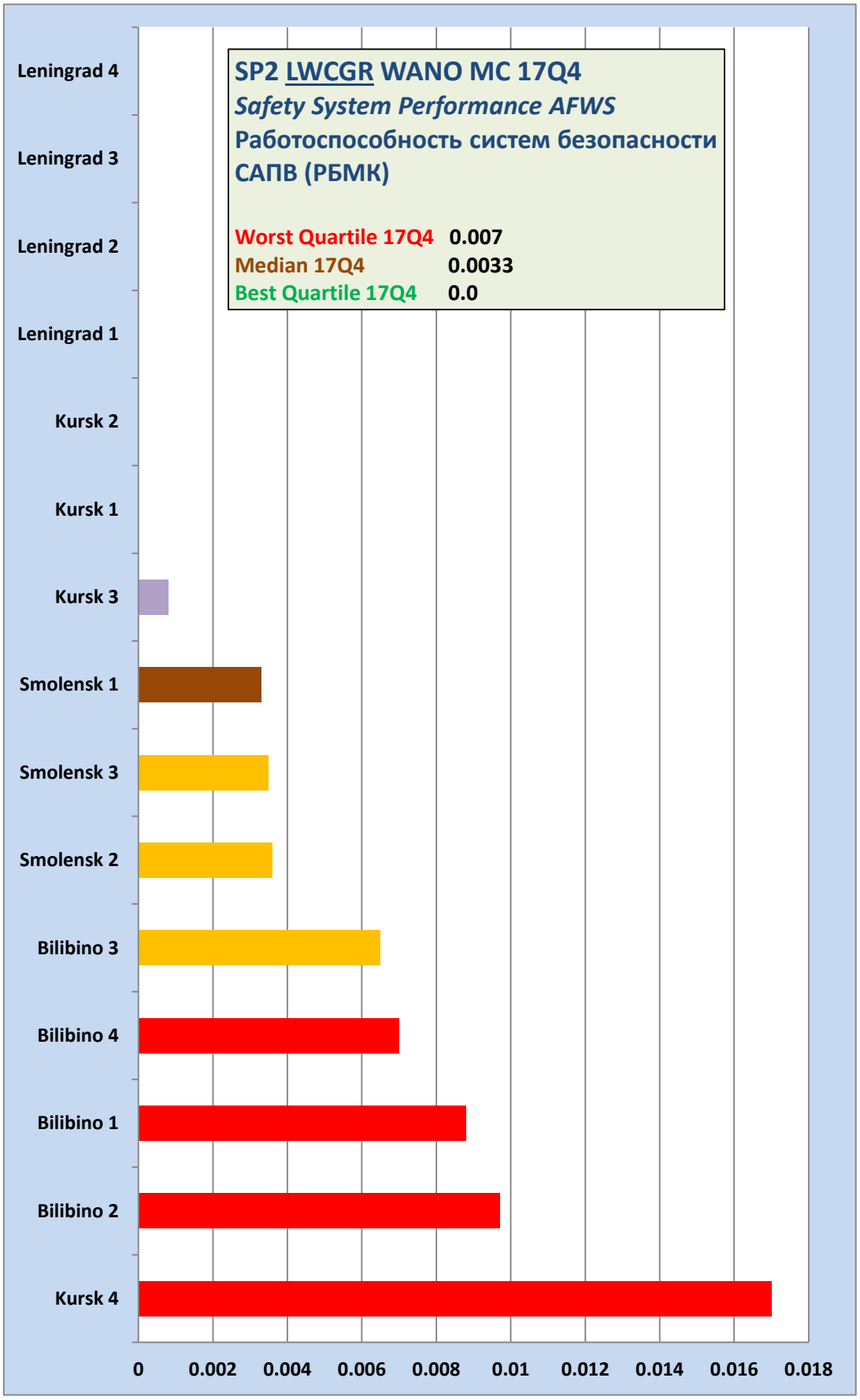
SP1 – Работоспособность систем аварийного охлаждения активной зоны (РБМК)



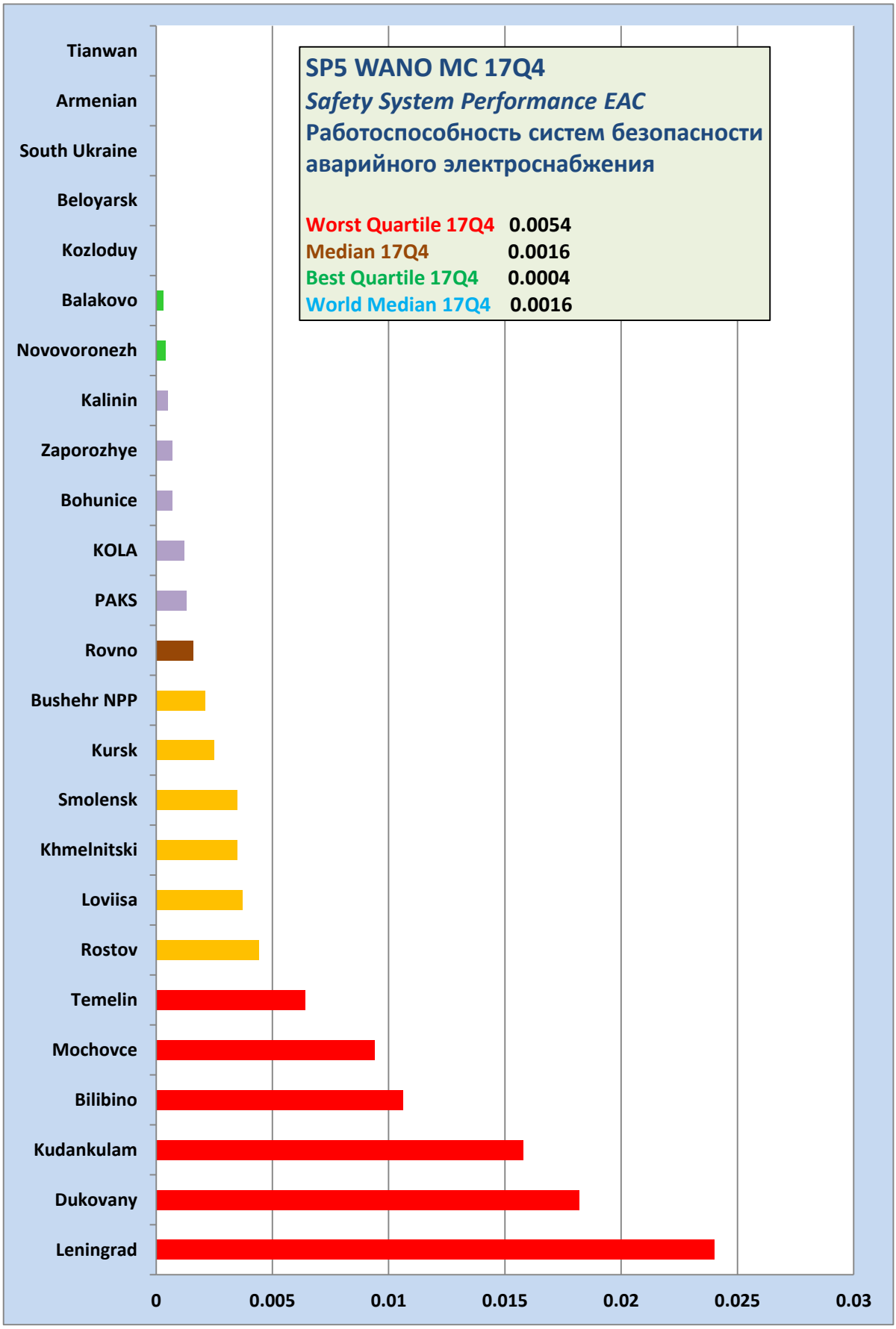
SP2 – Работоспособность систем аварийной питательной воды (ВВЭР)



SP2 – Работоспособность систем аварийной питательной воды (РБМК)

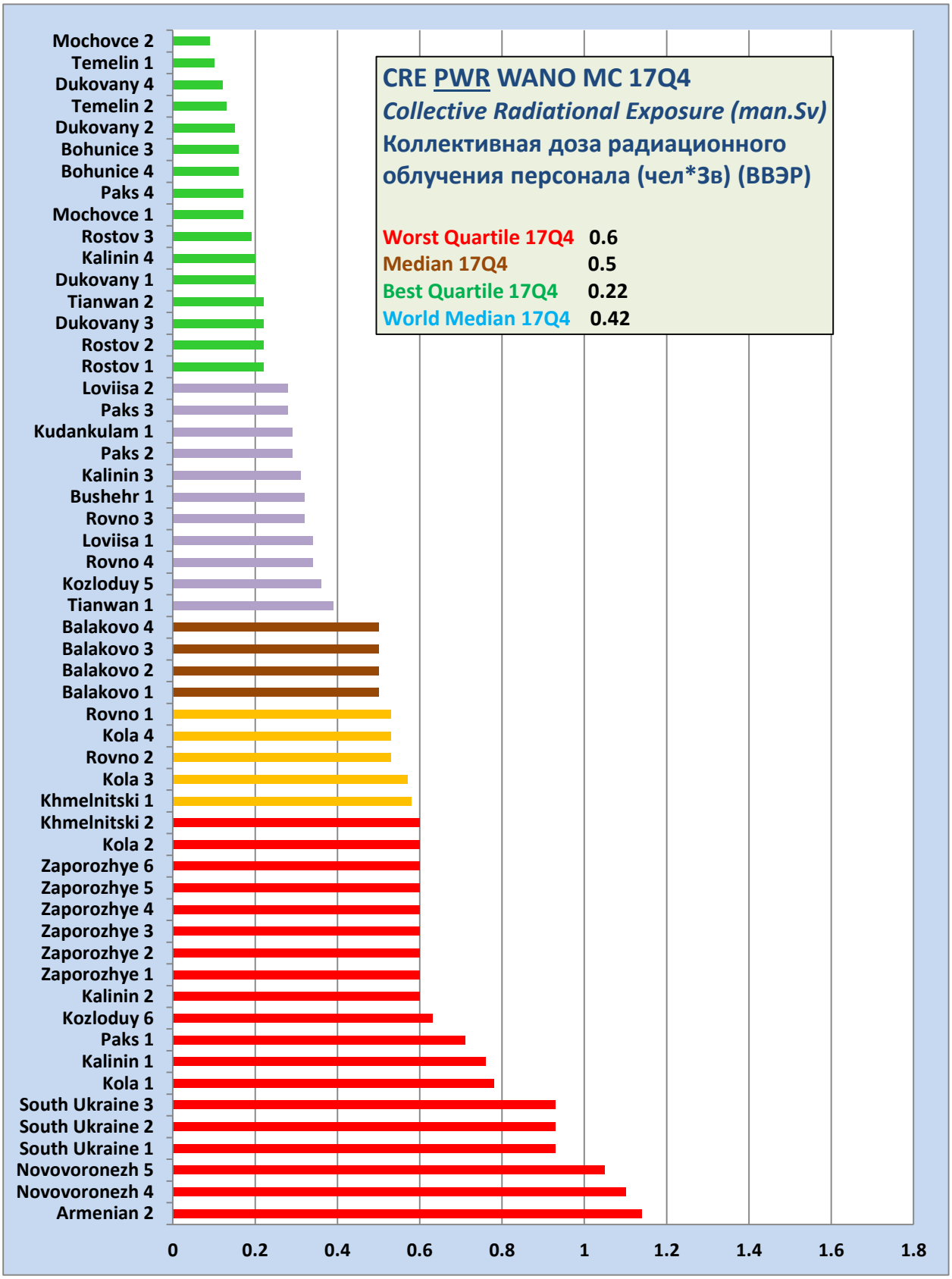


SP5 (EAC) – Работоспособность систем аварийного энергоснабжения (ДГ)

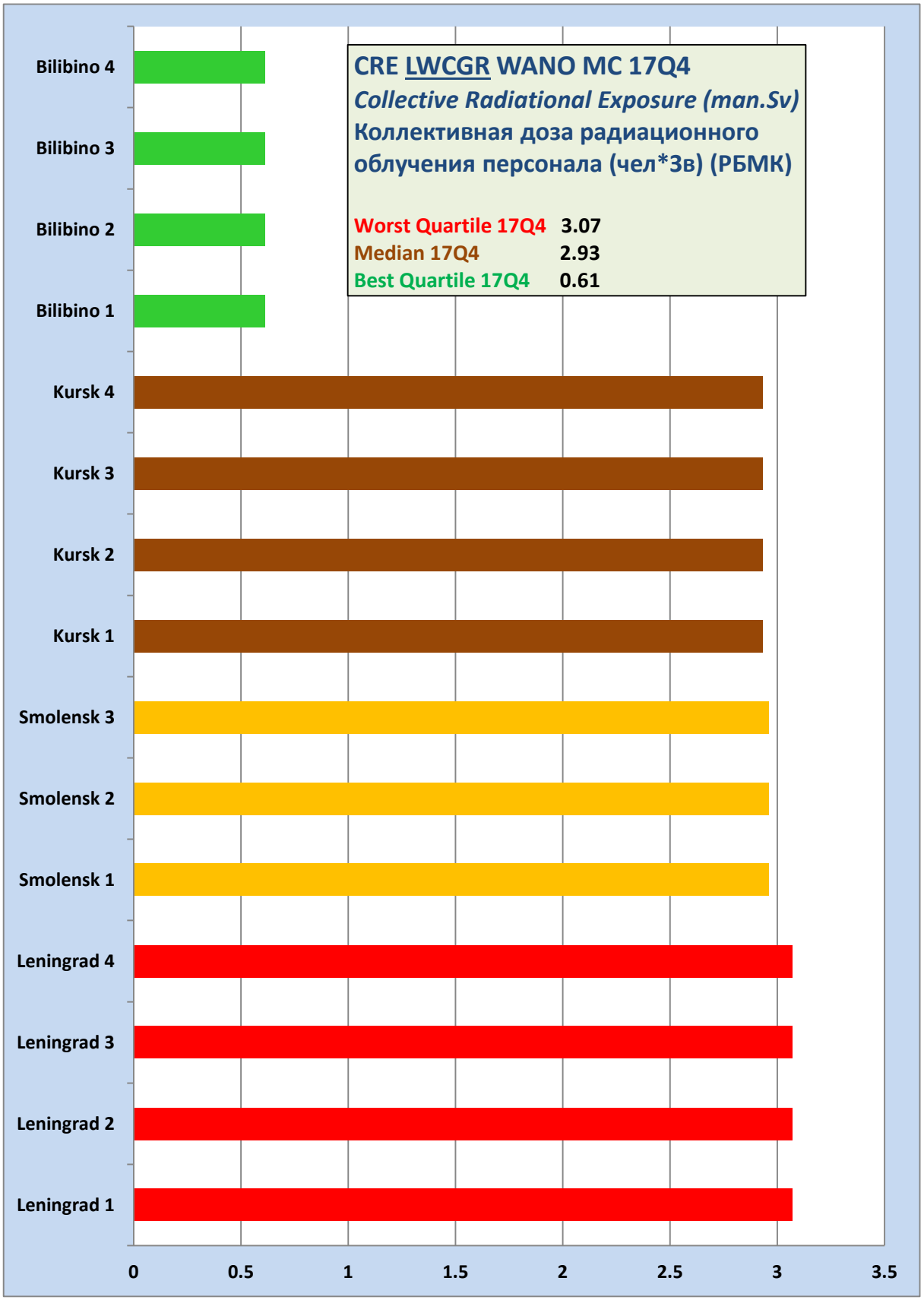


Показатели по мониторингу радиационной безопасности, ядерного топлива, ВХР

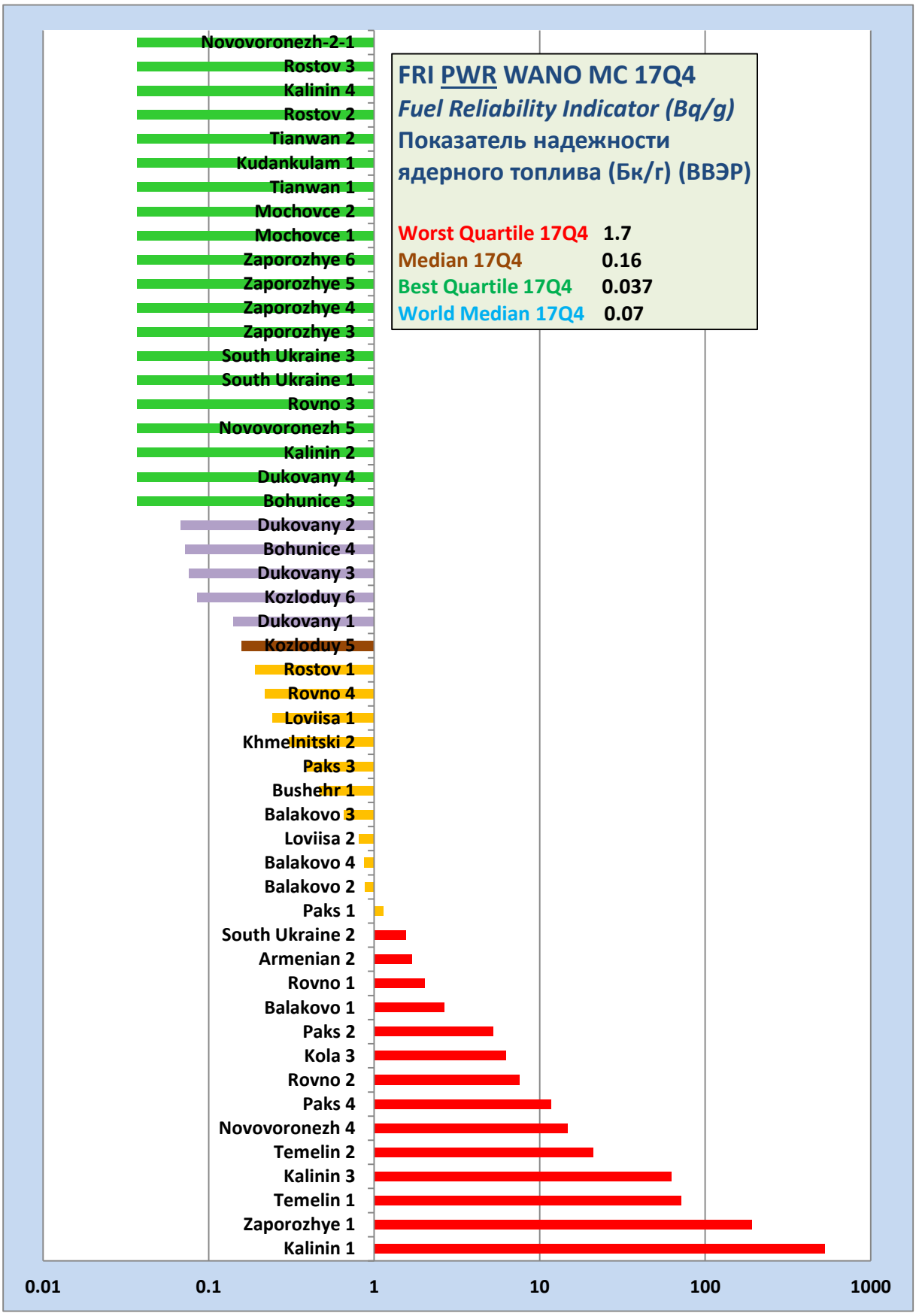
CRE – Коллективная доза радиационного облучения персонала (ВВЭР)



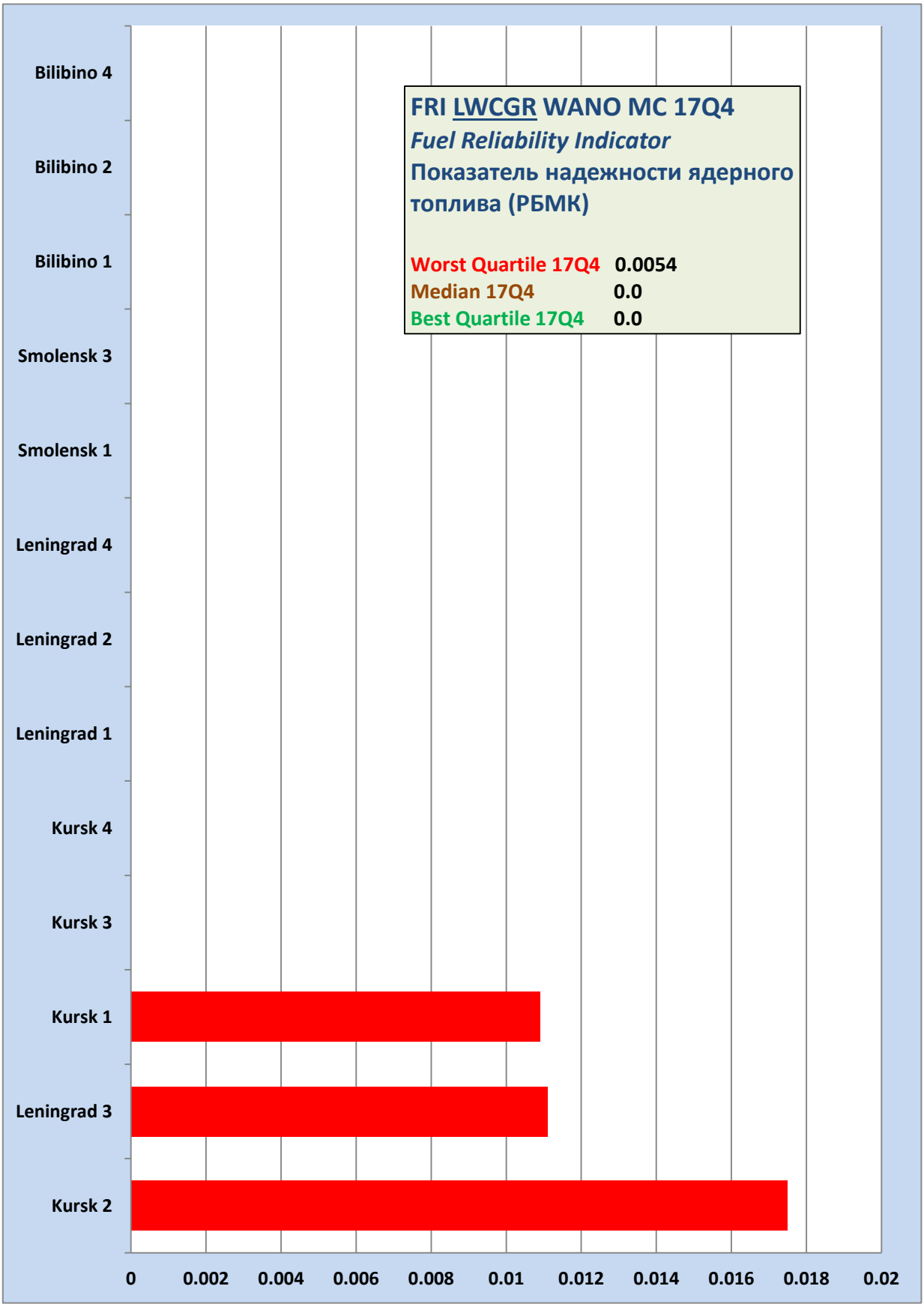
CRE – Коллективная доза радиационного облучения персонала (РБМК)



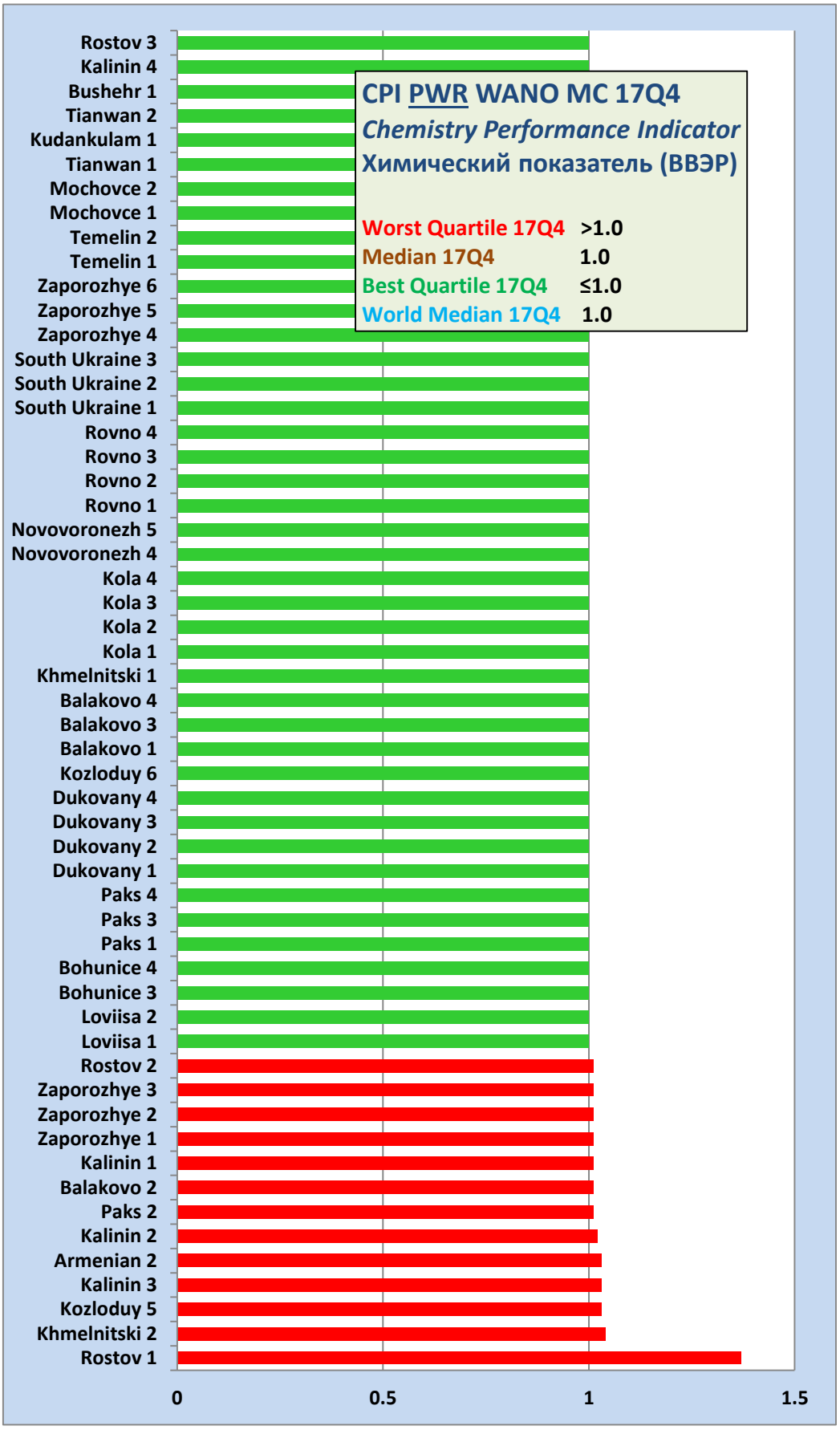
FRI – Показатель надёжности ядерного топлива (ВВЭР)



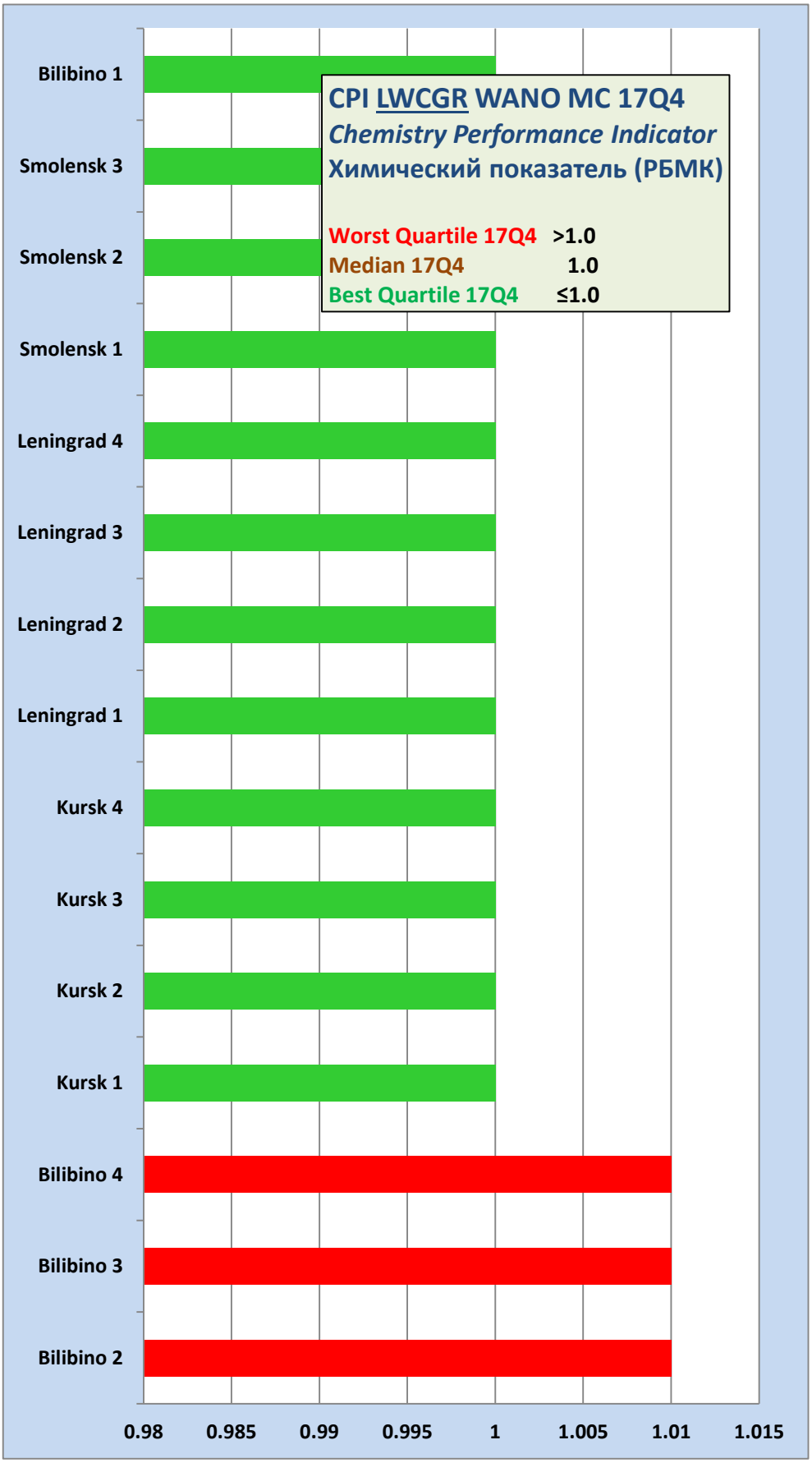
FRI – Показатель надёжности ядерного топлива (РБМК)



CPI – Химический показатель (ВВЭР)

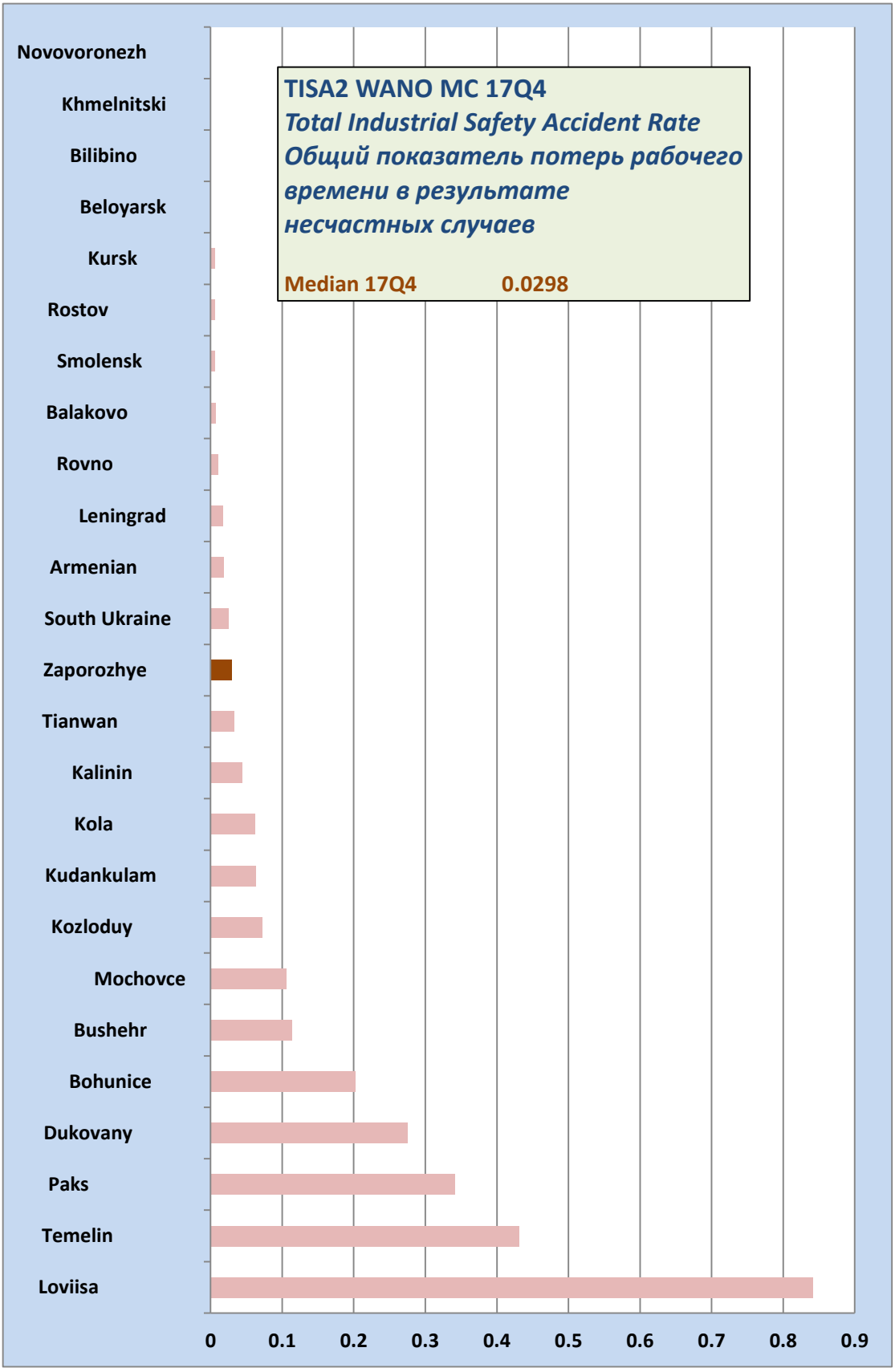


CPI – Химический показатель (РБМК)

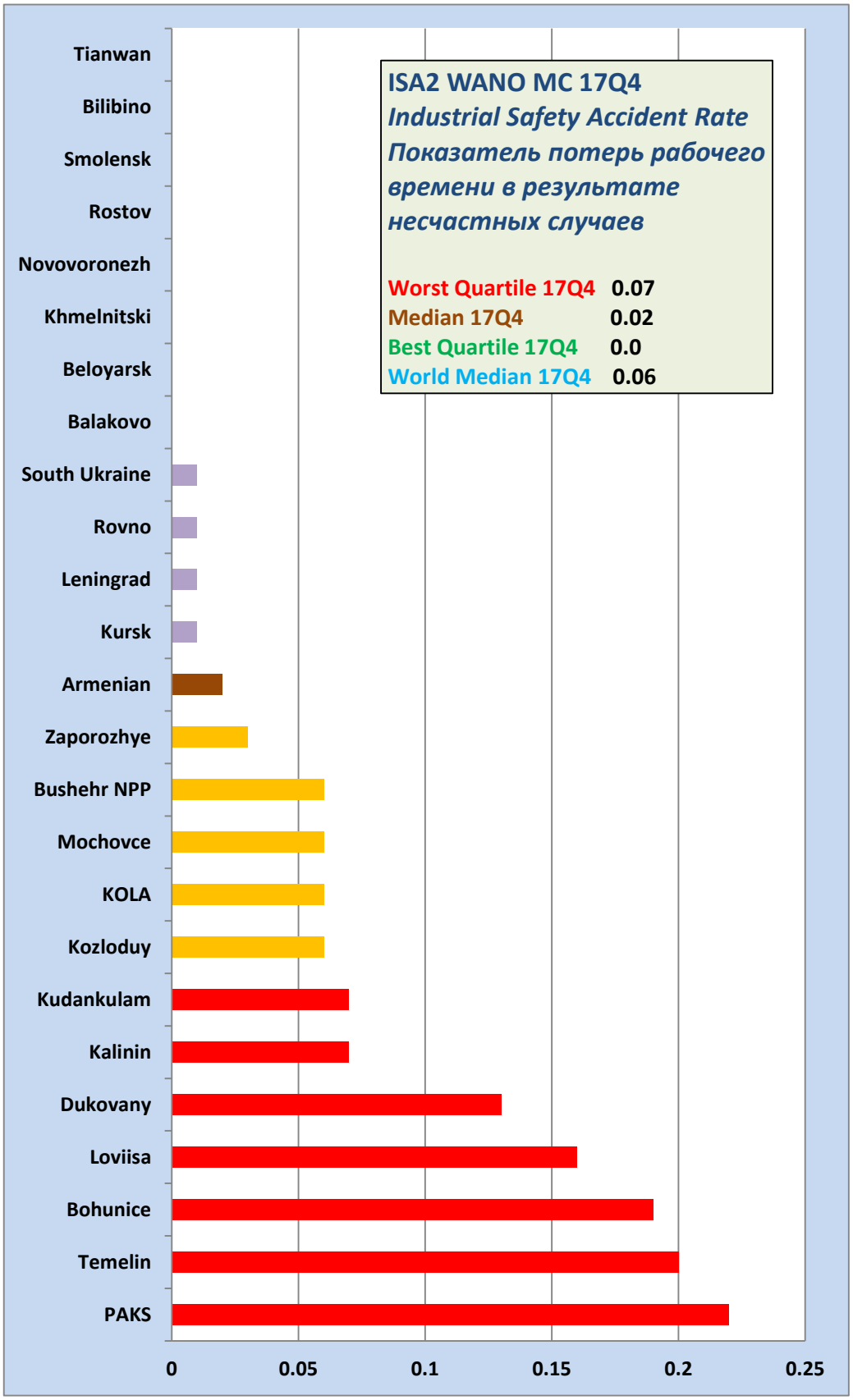
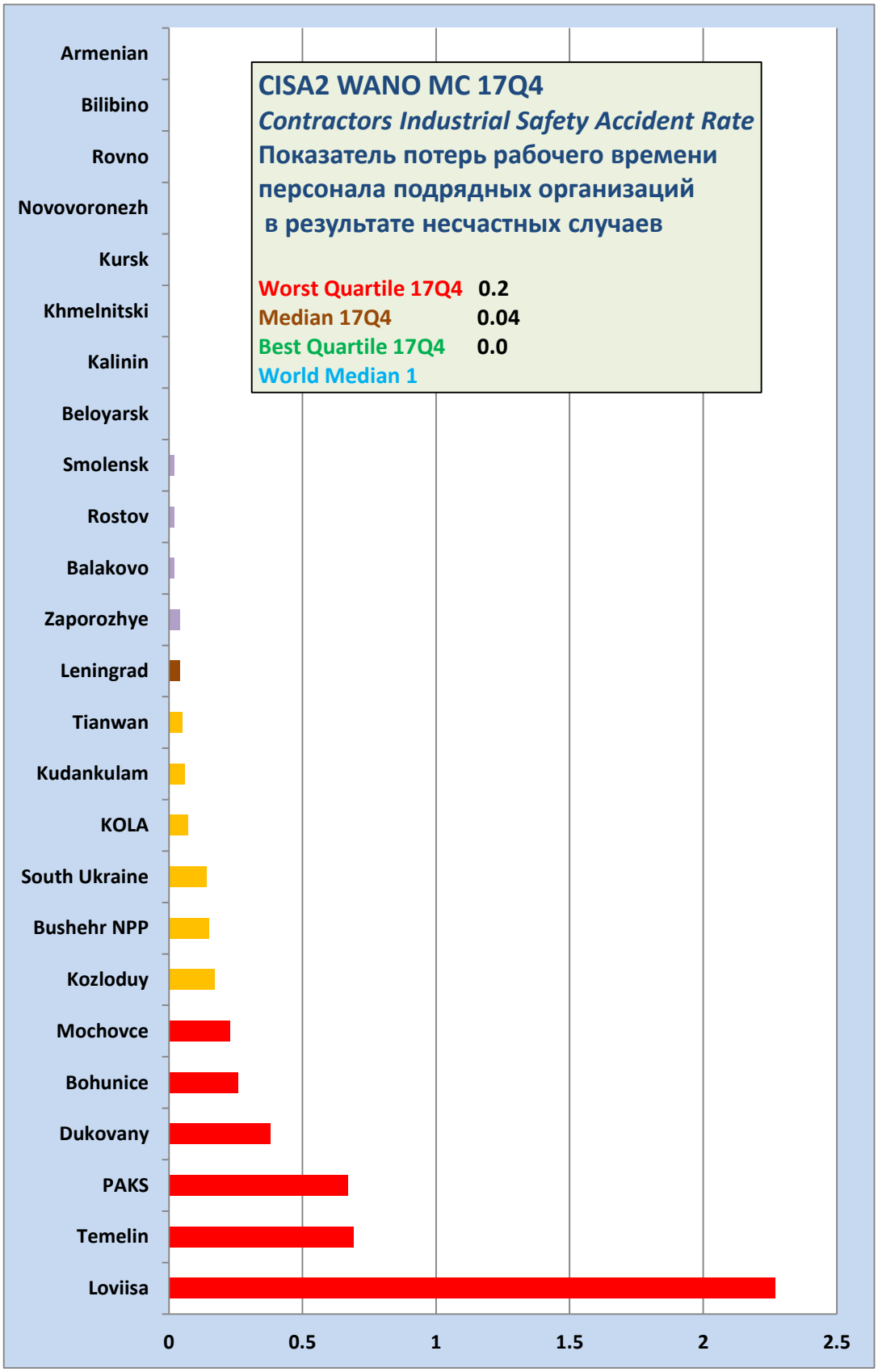


Показатели персональной безопасности

TISA2 – Показатель потерь рабочего времени в результате несчастных случаев



ISA2 – Показатель потерь рабочего времени в результате несчастных случаев станционного персонала



CISA2 – Показатель потерь рабочего времени в результате несчастных случаев персонала подрядных организаций