



Научно-практическая конференция:  
«Комплексная безопасность в  
промышленности, энергетике, строительстве»



# Пути обеспечения долговременной безопасности воздушных линий электропередачи.

«Институт электроэнергетики НГТУ»  
г. Новосибирск

**Тарасов Александр Георгиевич**

# Основные отличия производства электроэнергии от производства других товаров (работ, услуг)

- Электрические станции не могут произвести электроэнергию впрок. Процессы производства электроэнергии на станциях и её потребление у потребителя практически совпадают по времени.
- Пока не созданы мощные накопители электроэнергии, технологический цикл её производства и потребления **должен быть надёжно замкнутым.**
- **Надёжность объединения циклов** производства и потребления электроэнергии всегда обеспечивают **электрические сети (подстанции и линии).**
- Развитие электроэнергетики и всей экономики страны **зависит от развития потребления электроэнергии.**

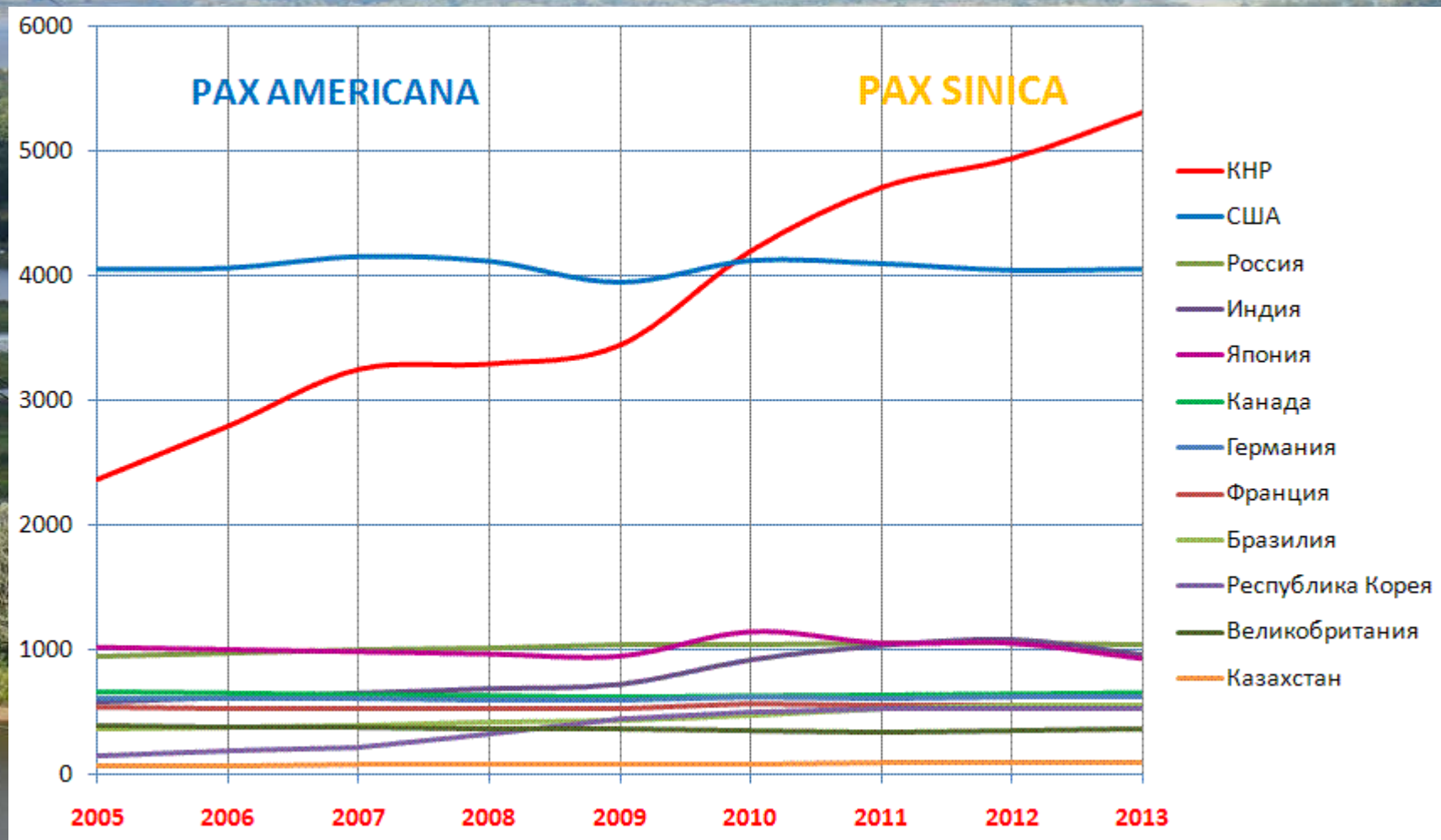
# Производство электроэнергии в мире (млрд. кВт\*час)

(данные <http://bourabai.ru/einf/electro.htm>)

| годы                    | 2005    | 2006    | 2007    | 2008    | 2009    | 2010    | 2011    | 2012    | 2013    |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| КНР                     | 2371,8  | 2800,0  | 3256,0  | 3300,0  | 3451,0  | 4206,5  | 4716,0  | 4950,0  | 5320,0  |
| США                     | 4055,4  | 4064,7  | 4156,7  | 4119,4  | 3950,3  | 4125,1  | 4100,1  | 4047,8  | 4058,2  |
| <u>Россия</u>           | 952,0   | 974,0   | 1000,0  | 1018,0  | 1040,0  | 1036,8  | 1053,0  | 1054,0  | 1045,0  |
| Индия                   | 579,4   | 615,5   | 651,6   | 687,7   | 723,8   | 922,2   | 1038,0  | 1087,0  | 963,7   |
| Япония                  | 1025,0  | 1008,0  | 991,0   | 974,0   | 957,0   | 1145,3  | 1058,0  | 1057,0  | 937,6   |
| Канада                  | 661,6   | 651,4   | 641,2   | 630,9   | 620,7   | 629,9   | 636,0   | 646,0   | 654,0   |
| Германия                | 609,6   | 605,6   | 601,5   | 597,5   | 593,4   | 621,0   | 615,0   | 623,0   | 620,0   |
| Бразилия                | 372,6   | 389,2   | 405,7   | 422,3   | 438,8   | 484,8   | 538,0   | 561,0   | 561,0   |
| Франция                 | 543,6   | 541,6   | 539,7   | 537,7   | 535,7   | 573,2   | 562,0   | 559,0   | 559,0   |
| Республика<br>Корея     | 150,0   | 190,0   | 220,0   | 330,0   | 440,0   | 497,2   | 522,0   | 526,0   | 526,0   |
| Великобритан<br>ия      | 396,4   | 389,5   | 382,5   | 375,6   | 368,6   | 352,7   | 346,0   | 360,0   | 370,0   |
| <u>Казахстан</u>        | 67,9    | 71,7    | 76,6    | 80,3    | 78,7    | 82,7    | 85,9    | 87,2    | 91,9    |
| остальные<br>страны     | 6353,0  | 6698,8  | 6972,4  | 7326,6  | 7002,0  | 6822,6  | 6930,0  | 7142,0  | 7593,6  |
| мировое<br>производство | 18138,3 | 19000,0 | 19894,9 | 20400,0 | 20200,0 | 21500,0 | 22200,0 | 22700,0 | 23300,0 |

# Потребление электроэнергии в мире

(данные <http://bourabai.ru/einf/electro.htm>)



# Рост и развитие электроэнергетики - индикатор деловой активности в стране

**Производство электроэнергии** - важнейший показатель уровня отрасли, а её **потребление** - показатель уровня деловой активности в стране, её экономического развития.

Первенство в этой области делят Китай и США. Уровни производства и потребления электроэнергии в Китае и США пока недостижимы для других стран.

Чтобы **поднять уровень потребления электроэнергии** в стране необходимы научно-обоснованные меры по снижению **себестоимости производства и передачи** электроэнергии потребителям. Только так можно **заработать средства на обновление** стремительно **стареющих электрических сетей.**

# Возрастная структура магистральных воздушных линий (ВЛ) на 2010г.



# Нормируемые сроки службы ВЛ

Сейчас, **сверхнормативным** сроком службы ВЛ, согласно действующим нормам, является срок службы проводов, первичной арматуры и изоляции более 25 лет. А (предельным) **аварийным** для всей ВЛ принят срок службы опор более 40 лет, после которого требуется замена ВЛ или проведение её технического освидетельствования с составлением экспертного заключения по условиям продления срока эксплуатации.

# Объективные опасности, которые создают угрозу для работоспособности и долговечности ВЛ

1. Процессы деградации элементов ВЛ (коррозия, износ, старение, усталость);
2. Вандализм (воздействия сторонних лиц и организаций);
3. Воздействие птиц, насекомых, животных;
4. Грозовые воздействия;
5. Аномальные (не расчётные) природные воздействия (температурные, ветровые, гололёдные, подтопления, землетрясения).



# Опасности моделей управления, которые снижают живучесть и долговечность воздушных линий (ВЛ)

1. Модель обслуживания старых ВЛ по факту их отказа ведёт к риску появления комбинированных угроз, каскадных аварий и непредвиденных ущербов.
2. Модель выбора технологий ремонта элементов ВЛ не по качеству, а по низшей цене, без учёта длительности жизненного цикла ВЛ, снижает общую долговечность ВЛ.
3. Модель широкого приоритетного обслуживания и обновления оборудования подстанций перед ВЛ в едином сетевом комплексе создаёт риск повышения аварийности ВЛ.

# Что будет за пределами нормативного срока службы воздушных линий электропередачи (ВЛ)?

Проблема обеспечения безопасности сетей заключается в том, что массовое строительство межсистемных воздушных линий электропередачи относится к 1960-1980 годам. К 2010 году на огромных просторах нашей страны обслуживалось 121,7 тысяч км таких линий. К 2020 году более половины из этих ВЛ, согласно действующим нормам, окажется в аварийном состоянии. Средств на реновацию старых ВЛ нет и не накапливается. Ресурсы на полное обновление всех аварийных ВЛ ограничены.

Приоритетность – это финансирование обслуживания, ремонта и развития объектов сети (ПС и ВЛ)

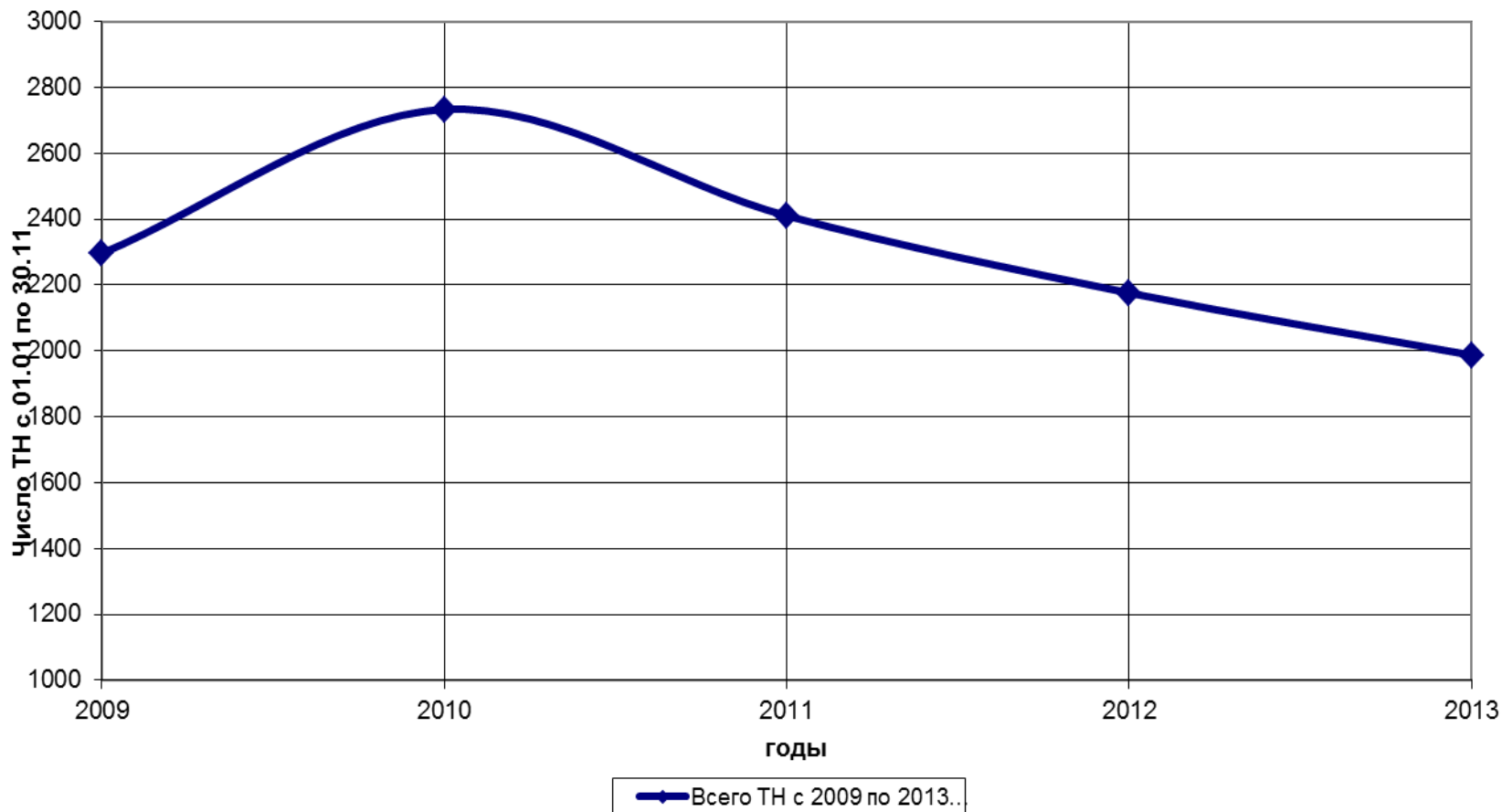
Сейчас, когда в рыночных условиях, сетевые предприятия самостоятельно финансируют ремонт, обслуживание и модернизацию ПС и ВЛ, приоритет сохраняется за ПС, как и было при прежней плановой экономике. Для оборудования подстанций сохранена система (ППР) планово-предупредительных ремонтов, а ВЛ в основном обслуживаются по факту отказа, и это приводит к сохранению их высокой аварийности.

# Тенденция распределения технологических нарушений за 9 месяцев года для разных лет (2013)

| Год периода | Общее число нарушений | Место ТН |      |      |      | Доля ТН на ВЛ, % | Доля ТН на ПС, % |
|-------------|-----------------------|----------|------|------|------|------------------|------------------|
|             |                       | ВЛ       |      | ПС   | СДТУ |                  |                  |
|             |                       | УАПВ     | НАПВ |      |      |                  |                  |
| 2013        | 1987                  | 1010     | 383  | 578  | 16   | 70,1             | 29,9             |
| 2012        | 2176                  | 1081     | 389  | 684  | 22   | 67,6             | 32,4             |
| 2011        | 2410                  | 1056     | 432  | 878  | 44   | 61,7             | 38,3             |
| 2010        | 2733                  | 936      | 588  | 1194 | 15   | 55,8             | 44,2             |
| 2009        | 2296                  | 827      | 366  | 1100 | 3    | 52,0             | 48,0             |

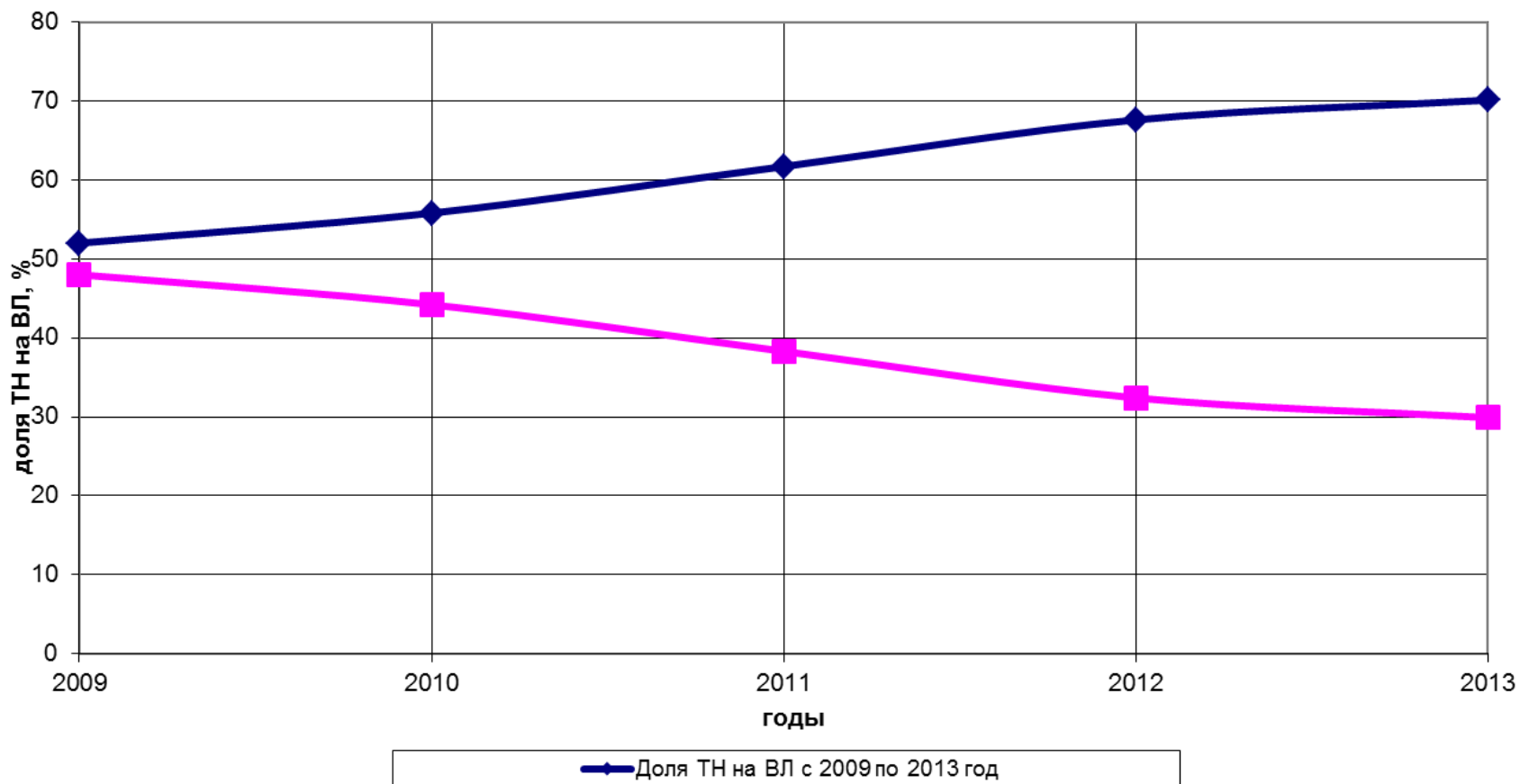
# Общее количество технологических нарушений на ВЛ и ПС за 9 месяцев года для разных лет (2013)

Всего ТН по объектам ОАО "ФСК ЕЭС" с 2009 по 2013 годы (в период с 01 января по 01 октября)



# Доли в % технологических нарушений на ВЛ и ПС за 9 месяцев года для разных лет (2013 год)

Доля ТН в год на ВЛ и ПС с 2009 по 2013 год (период 01 января по 01 октября)

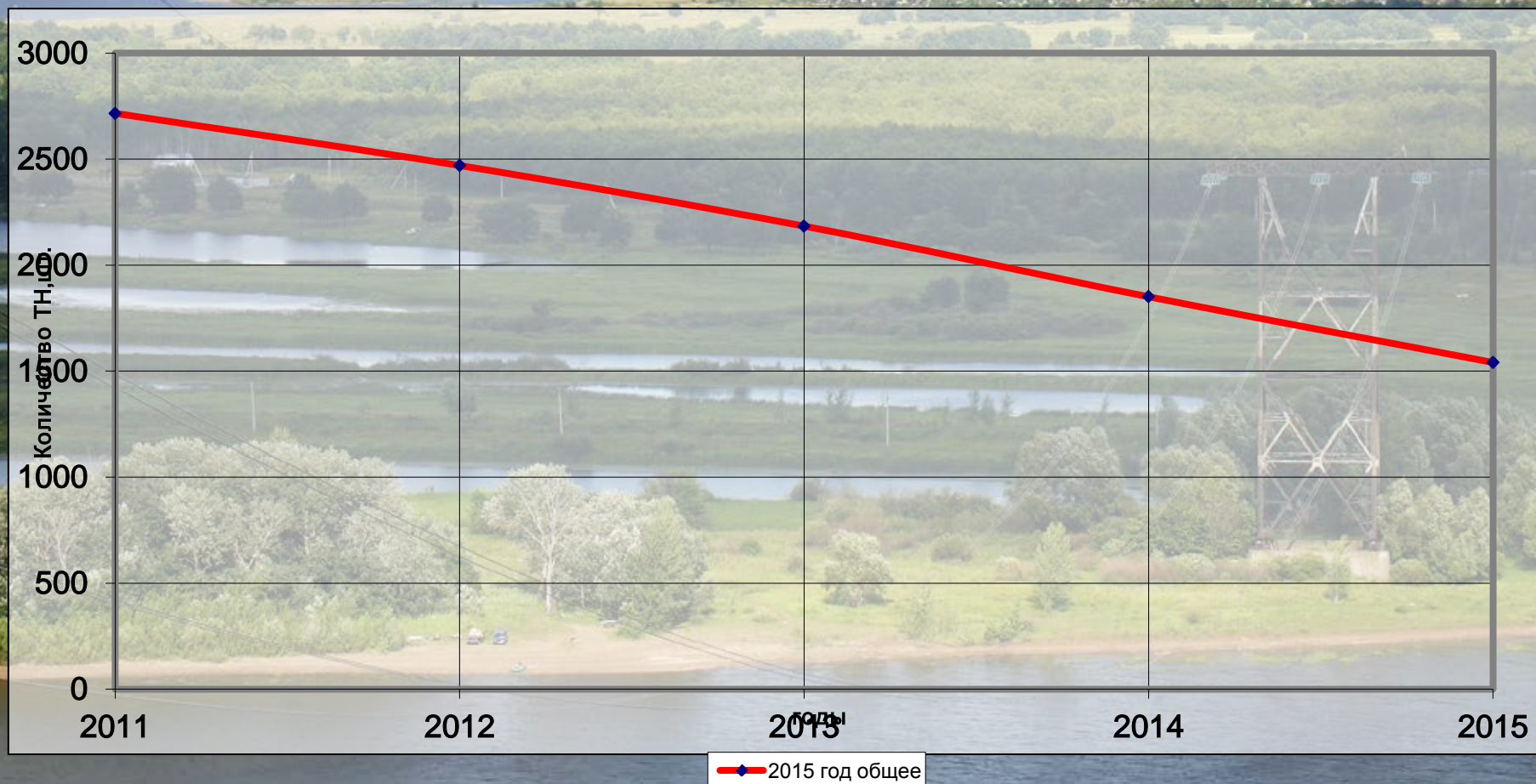


# Тенденция распределения технологических нарушений за 11 месяцев года для разных лет

| Год периода | Общее число нарушений | Место технологического нарушения |            |                       |            |           | Доля ТН на ВЛ, % | Доля ТН на ПС, % |
|-------------|-----------------------|----------------------------------|------------|-----------------------|------------|-----------|------------------|------------------|
|             |                       | ВЛ                               |            | ПС                    |            | СДТУ      |                  |                  |
|             |                       | УАПВ                             | НАПВ       | Основное оборудование | УРЗА       |           |                  |                  |
| <b>2015</b> | <b>1541</b>           | <b>703</b>                       | <b>323</b> | <b>315</b>            | <b>196</b> | <b>4</b>  | <b>66,6</b>      | <b>33,4</b>      |
| <b>2014</b> | <b>1851</b>           | <b>879</b>                       | <b>400</b> | <b>338</b>            | <b>224</b> | <b>10</b> | <b>69,1</b>      | <b>30,9</b>      |
| <b>2013</b> | <b>2184</b>           | <b>1043</b>                      | <b>422</b> | <b>442</b>            | <b>258</b> | <b>19</b> | <b>67,1</b>      | <b>32,9</b>      |
| <b>2012</b> | <b>2470</b>           | <b>1178</b>                      | <b>436</b> | <b>514</b>            | <b>310</b> | <b>32</b> | <b>65,3</b>      | <b>34,7</b>      |
| <b>2011</b> | <b>2716</b>           | <b>1117</b>                      | <b>478</b> | <b>661</b>            | <b>405</b> | <b>55</b> | <b>58,7</b>      | <b>41,3</b>      |

# Общее количество технологических нарушений на ВЛ и ПС за 11 месяцев года для разных лет (2015г)

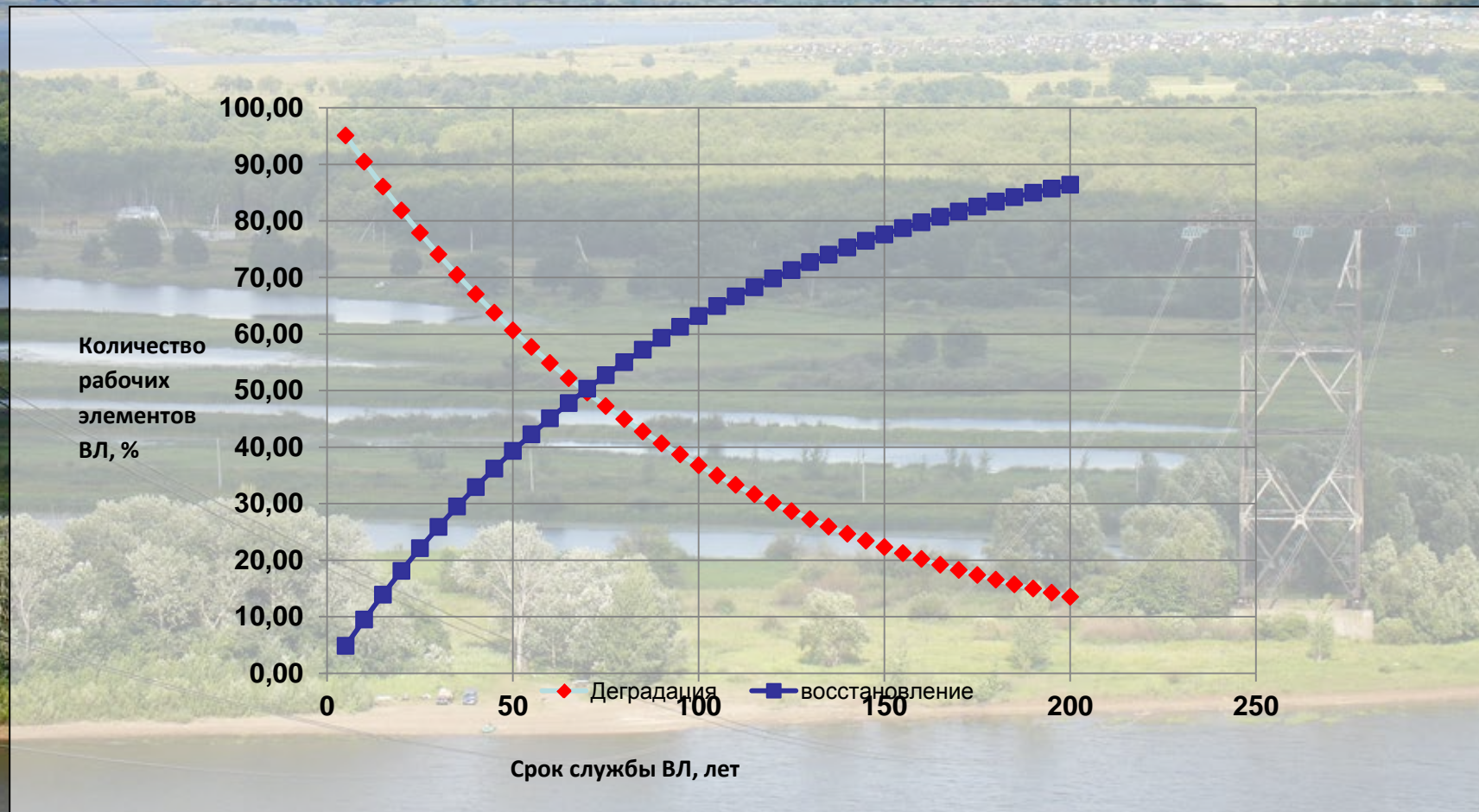
Всего ТН по объектам ОАО "ФСК ЕЭС" за 2011-2015 годы (с 01 января по 30 ноября)







# Закономерности эксплуатации ВЛ, как восстанавливаемой системы



# Состав и структура воздушных линий электропередачи

Если рассматривать ВЛ – как материально организованную среду, необходимую для транспорта электроэнергии от источника к потребителю, то в конструкции ВЛ должны быть взаимосвязаны два основных свойства: **функциональное** (назначение, польза) и **техническое** (обеспечение долговременного, бесперебойного, экономичного и безопасного протекания по проводам электрического тока при воздействии различных угроз).

# Категории содержания и формы, как способ разбиения ВЛ на элементы

Если **содержательной частью** ВЛ является её способность передавать электроэнергию на всём протяжении от источника до потребителя, а её **формой** – способность ВЛ к обеспечению на всём протяжении долговременного, бесперебойного, экономичного и безопасного электроснабжения потребителей при воздействии любых угроз, то **содержательная часть** воздушной линии электропередачи будет её **функциональным** свойством, а техническое свойство ВЛ будет **формой** этого содержания.

# Форма – средство обеспечения безопасности и живучести объекта

Следовательно содержательная часть ВЛ обеспечивает выполнение её основного предназначения (**функции**) ВЛ, а формальная часть ВЛ обеспечивает **защиту** этой функции ВЛ от различных внешних воздействий и угроз. Можно предположить, что правильно организованная **форма объекта всегда должна являться защитой** возложенной на объект функции (**содержания**), а значит средством обеспечения безопасности и живучести объекта.



# Структура элементов ВЛ

В соответствии с определениями технического регламента по безопасности (Федеральный Закон № 384-ФЗ от 30.12.2009 г.), **ВЛ** можно считать сооружением, состоящим из совокупности **двух систем**:

- **Функциональной**, где провода, шлейфы, первичная арматура, тросы, заземление, гирлянды изоляторов, коммутационная аппаратура **обеспечивают** работоспособность ВЛ, как **электротехнической** системы;
- **Электросетевых конструкций** (строительная система), где опоры, фундаменты, основания, вторичная арматура, трасса ВЛ **обеспечивают** нормируемые изоляционные расстояния проводов фаз между собой и землёй.

# Долговременность сохранения качества электроснабжения

Известно, что воздушные линии электропередачи, особенно межсистемные, предназначены для **долговременного, бесперебойного, экономичного и безопасного** электроснабжения потребителей. Это показатели качества ВЛ.

Если три последних свойства ВЛ определяются техническим и организационным состоянием функциональной части ВЛ, то вопросы оценки и **обеспечения ресурса работы ВЛ** в условиях различных внешних воздействий большей частью относятся к электросетевым конструкциям ВЛ. Поэтому, чтобы обеспечить долговременную безопасность и качество работы линии необходимо знать чем определяется **предельное состояние электросетевых конструкций.**



# Предельное состояние ВЛ и её элементов

Из того же технического регламента по безопасности (Федеральный Закон № 384-ФЗ от 30.12.2009 г.) следует, что **предельное состояние строительных конструкций** – есть состояние строительных конструкций здания или сооружения, за пределами которого их дальнейшая эксплуатация опасна, недопустима, затруднена или нецелесообразна, либо восстановление работоспособного состояния здания или сооружения невозможно или нецелесообразно. Учитывая, что ВЛ является восстанавливаемым объектом и любую строительную конструкцию ВЛ, эксплуатация которой опасна, недопустима или затруднена, можно восстановить или заменить, то предельное состояние всей ВЛ будет наступать очень долго - до конца **морального** срока службы, или определяться какими-то глобальными угрозами.

# Модель старения воздушной линии

При планировании управляющих ремонтных воздействий на ВЛ принято считать, что **все ВЛ стареют одинаково по всей длине на всей территории страны**, а их техническое состояние ухудшается во времени **пропорционально своему возрасту**.

Такая модель старения и нормирования сроков ремонтных воздействий на оборудование **одинакова** практически **для всех отраслей** экономики России. И если для отдельных сосредоточенных объектов это часто оправдано, то для пространственно-распределённых восстанавливаемых объектов, как ВЛ, модель явно требует уточнения.



# Закономерности старения ВЛ

Для наличия равномерного старения ВЛ по всей её длине необходимо, чтобы общие (**повсеместные**) влияния окружающей среды (ветер, гололёд, гроза, атмосферная или грунтовая агрессивность, температурный режим и др.) были **одинаковыми** по всей трассе ВЛ. Обычно так и принимают в расчётах при проектировании отдельного анкерного участка ВЛ. Однако **скорости процессов деградации** элементов ВЛ зависят не только от свойств окружающей среды, но и от свойств самих элементов ВЛ, а также от их местоположения на трассе проектируемого анкерного участка ВЛ. Поэтому опасный материальный ущерб от деградации элементов ВЛ под действием даже общих (**повсеместных**) воздействий, равномерно распределённых по длине ВЛ, будет носить **локальный** характер, в том числе и для проводов.

# Реальная долговечность элементов ВЛ

**Равномерного старения** или износа элементов ВЛ по всей её длине с ухудшением технического состояния пропорционального сроку службы **реально не существует**. Но есть минимальные значения срока службы, когда начинают проявляться негативные результаты процессов деградации. Например, для сталеалюминевых проводов и стальных тросов зарубежные авторы дают диапазон – 67-77 лет, а по нашим данным для железобетонных опор это срок 26-30 лет, для анкерных конструкций оттяжек опор минимальный срок - 15-20 лет.

# Модели ремонтного обслуживания ВЛ

Неравномерность распределения дефектного состояния элементов по трассе ВЛ подтверждается многочисленными результатами комплексного диагностического обследования ВЛ. Оно показывает, что на каждой ВЛ есть множество **локальных зон** с пониженной долговечностью и работоспособностью тех или иных элементов.

Обеспечить долговременную работоспособность старых ВЛ в процессе эксплуатации возможно путём выявления таких зон с помощью достоверного **неразрушающего** диагностического контроля и применения упреждающих ремонтных воздействий.

# Целевые функции жизненного цикла ВЛ

Если под нормативным сроком службы понимать проектное время надёжной работы ВЛ – ( $T_{п.}$ ), то за этот период на ВЛ могут возникнуть физические разрушения элементов при сроке службы – ( $T_{физ.}$ ), вызванные непредвиденными или случайными причинами их деградации.

Если обозначить моральный срок службы ВЛ – ( $T_{мор.}$ ), как предельный для принятия решения по замене ВЛ, то идеальным соотношением этих времён, к которому надо стремиться, должно быть:

$$(T_{мор.}) = (T_{физ.}) = (T_{п.})$$

# Внешние влияния на ВЛ

Для учёта климатических воздействий на ВЛ в расчёт принимаются ветровые, гололёдные и грозовые воздействия, а также влияния максимальных и минимальных температур, с повторяемостью 1 раз в 25 лет. Есть также специальные требования по защите ВЛ и подстанций для некоторых территорий, где наблюдаются загрязнение атмосферы, солифлюкционные явления, пучение, вечная мерзлота, сели, оползни, камнепады, выдувание песков, подтопления, развитие овражно-балочных систем, пляска проводов...



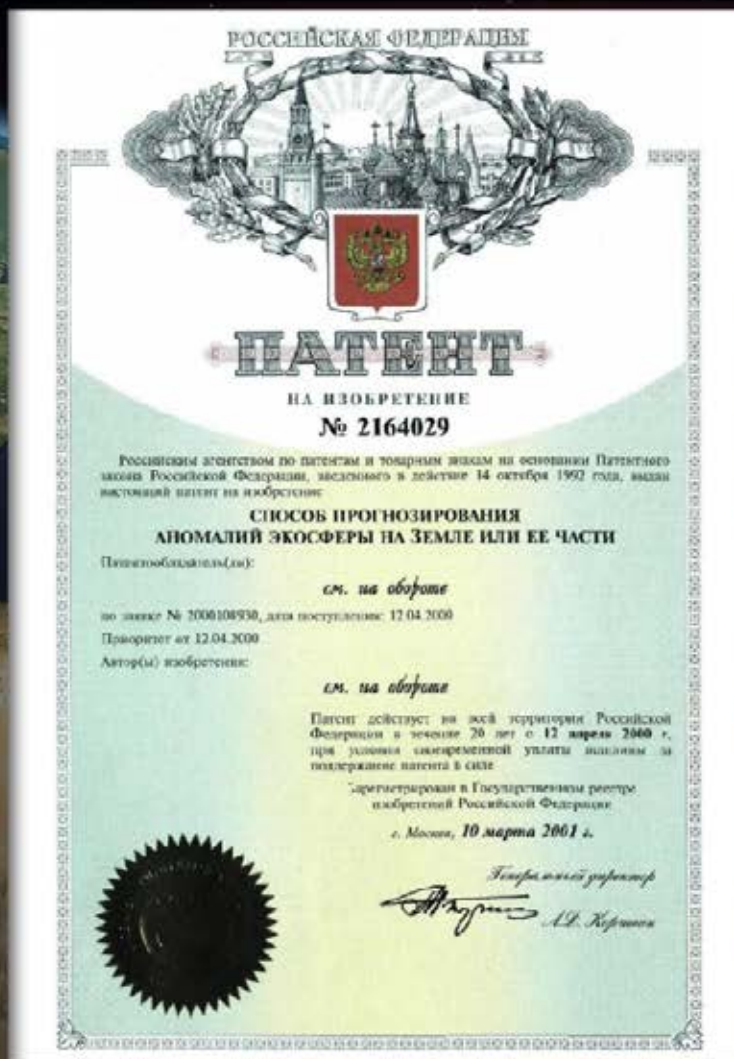
# Аномальные природные влияния на ВЛ

Учитывая повсеместное возрастание количества природных аномалий, вызванных глобальным потеплением на планете, появляются дополнительные угрозы и сочетание угроз (комбинированные угрозы), на которые ВЛ и др. электросетевые объекты не рассчитаны. Но возможно применение достаточно перспективных запатентованных разработок учёных по прогнозированию аномалий, которые постепенно находят применение в системах обеспечения безопасности различных отраслей экономики.

# Способ прогнозирования аномалий экосферы на Земле или её части

Publication Name:  
001 2 14

Спонсор проекта: Всероссийский Экспертный Центр



# Способ прогнозирования экологического состояния на Земле или её части



# Сравнение нарушений в работе ОРУ подстанций и ВЛ

| №<br>п/п | Наименование причин<br>технологических нарушений<br>(ТН) | ПС (01.01- 01.10. 2013г.) |              |        | ВЛ (01.01- 01.10. 2013г.) |              |        |
|----------|--|---------------------------|--------------|--------|---------------------------|--------------|--------|
|          |  | КОЛ-ВО<br>ШТ.             | ВСЕГО<br>ШТ. | %      | КОЛ-ВО<br>ШТ.             | ВСЕГО<br>ШТ. | %      |
| 1        | Гроза  | 10                        | 578          | 1,73   | 694                       | 1224         | 56,7   |
| 2        | Воздейств.постор.лиц и организ                           | 8                         | 578          | 1,38   | 143                       | 1224         | 11,7   |
| 3        | Птицы  | 17                        | 578          | 2,94   | 81                        | 1224         | 6,62   |
| 4        | Загрязнение изоляции                                     | 3                         | 578          | 0,52   | 55                        | 1224         | 4,49   |
| 5        | <b>Не выявлено</b>                                       | 24                        | 578          | 4,15   | 64                        | 1224         | 5,23   |
| 6        | Износ  | 194                       | 578          | 33,56  | 42                        | 1224         | 3,43   |
| 7        | Дефект изготовления                                      | 105                       | 578          | 18,17  | 9                         | 1224         | 0,74   |
| 8        | Дефект монтажа   | 59                        | 578          | 10,21  | 17                        | 1224         | 1,39   |
| 9        | Недостатки конструкции                                   | 20                        | 578          | 3,46   | 2                         | 1224         | 0,16   |
| 10       | Недостатки проекта                                       | 11                        | 578          | 1,90   | 5                         | 1224         | 0,41   |
| 11       | Остальные причины  | 127                       | 578          | 21,97  | 112                       | 1224         | 9,15   |
|          | Всего  | 578                       | 578          | 100,00 | 1224                      | 1224         | 100,00 |

# Выводы по сравнению дефектности ПС и ВЛ

Из таблицы следует, что ВЛ в 30 раз чаще подвергаются грозovým воздействиям, в 8 раз чаще на них воздействуют посторонние лица, в 2 раза чаще наблюдаются аварийные отключения ВЛ от воздействия птиц (это основные виды повреждений на ВЛ), но при этом ПС в 10 раз больше изнашиваются по сравнению с оборудованием ВЛ, в 25 раз у них больше дефектов изготовления и в 7 раз больше дефектов монтажа. Поэтому ПС требуют более частого обновления и модернизации, чем ВЛ.

# Заключение

В складывающейся природной и экономической ситуации существующим воздушным линиям предстоит ещё долго работать в нерасчётном режиме по сроку службы. В связи с этим разработка методологий поддержания работоспособности и продления ресурса ВЛ является актуальной научной, эксплуатационной, экономической и юридической задачей, решение которых поможет обеспечить дальнейшую безопасную работу воздушных линий.

**Научно-практическая конференция:  
«Комплексная безопасность в промышленности, энергетике,  
строительстве»**

**Спасибо за внимание !**