

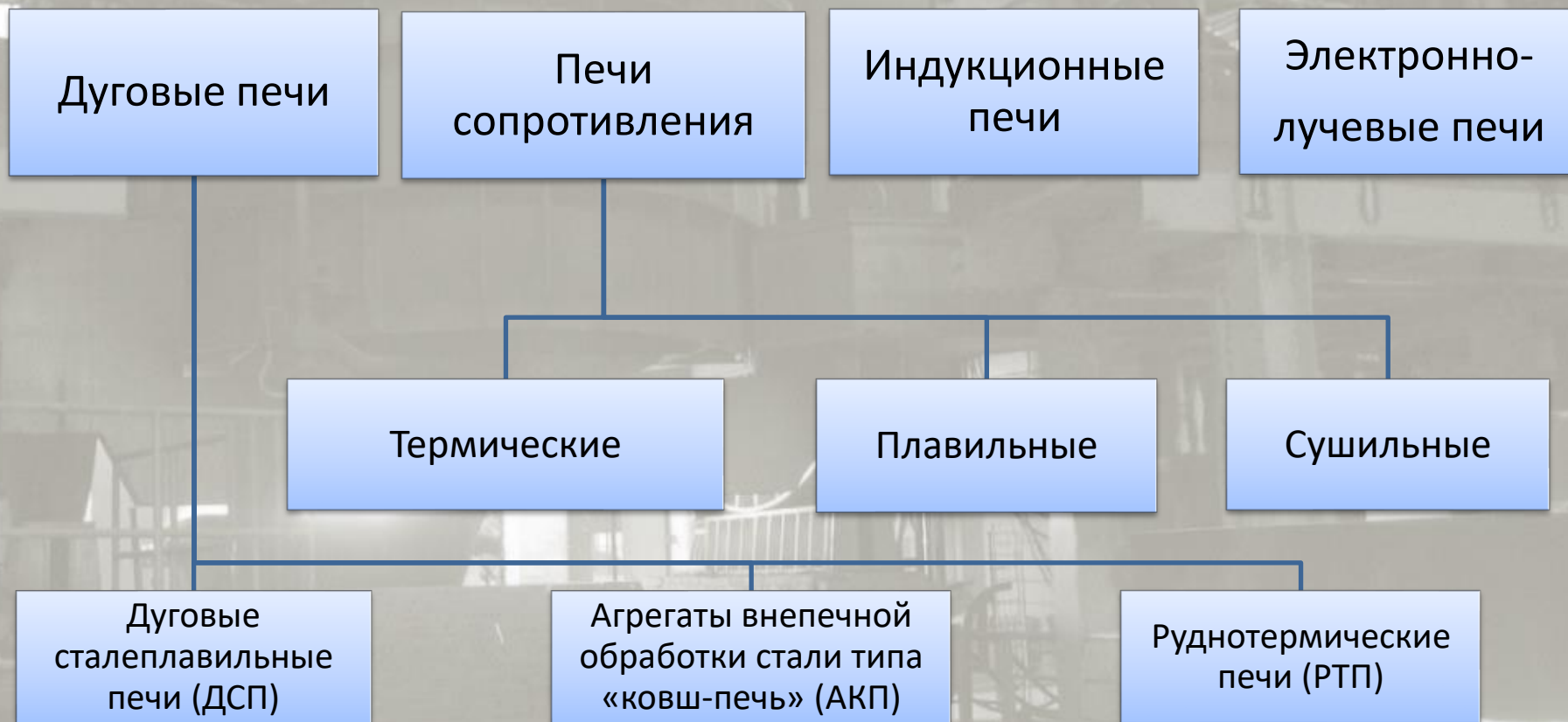
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР «ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЯ»

Защита от перенапряжений высоковольтного
оборудования в схемах питания
электропечных установок с помощью
ОПН и RC-цепей

Аксенов А.Б.

Электротермические установки – это отдельный вид специальных электроустановок, которые выделены в отдельную главу Правил устройства электроустановок

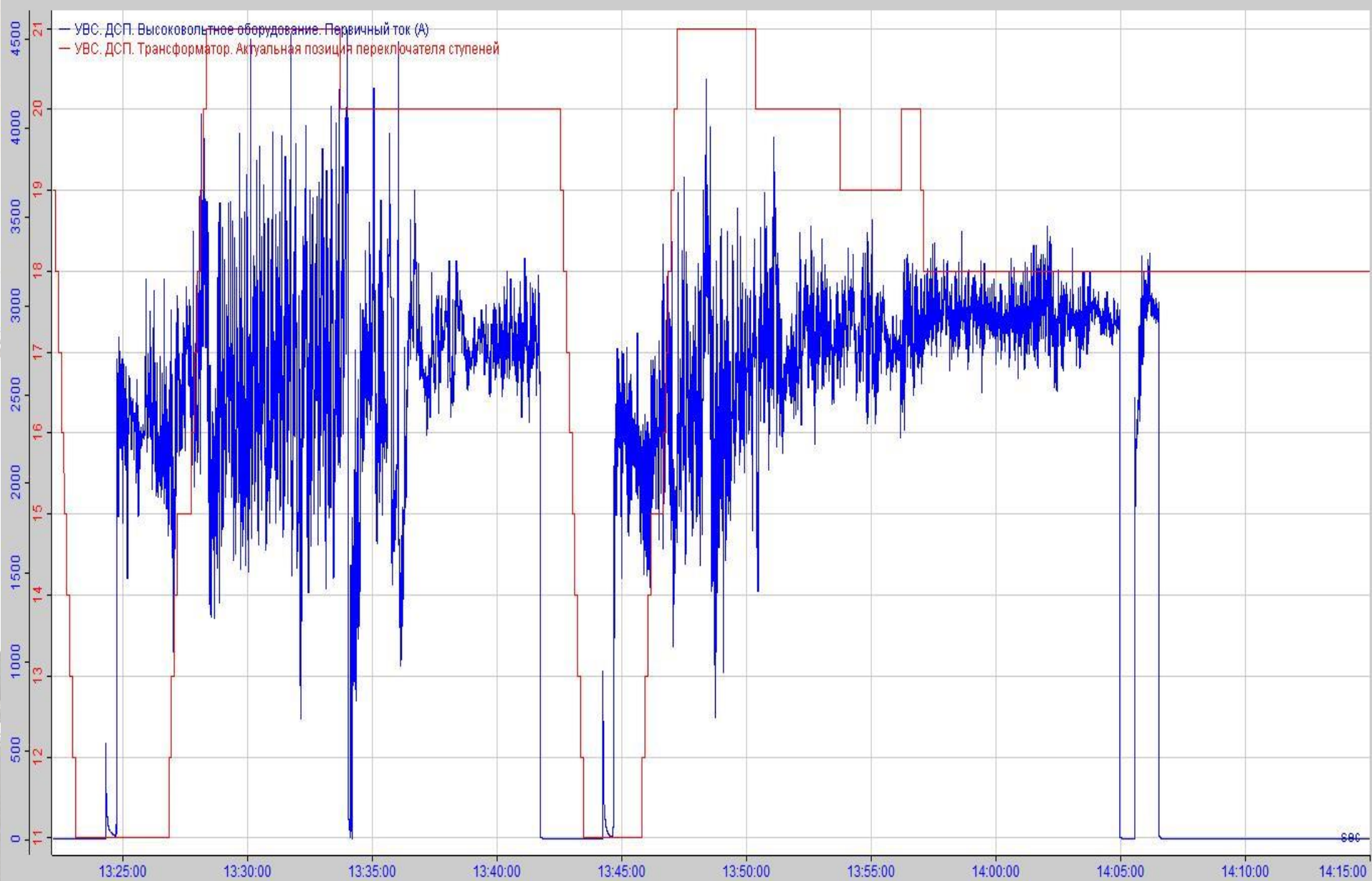
Электропечные установки классифицируются в зависимости от способа превращения электрической энергии в тепловую



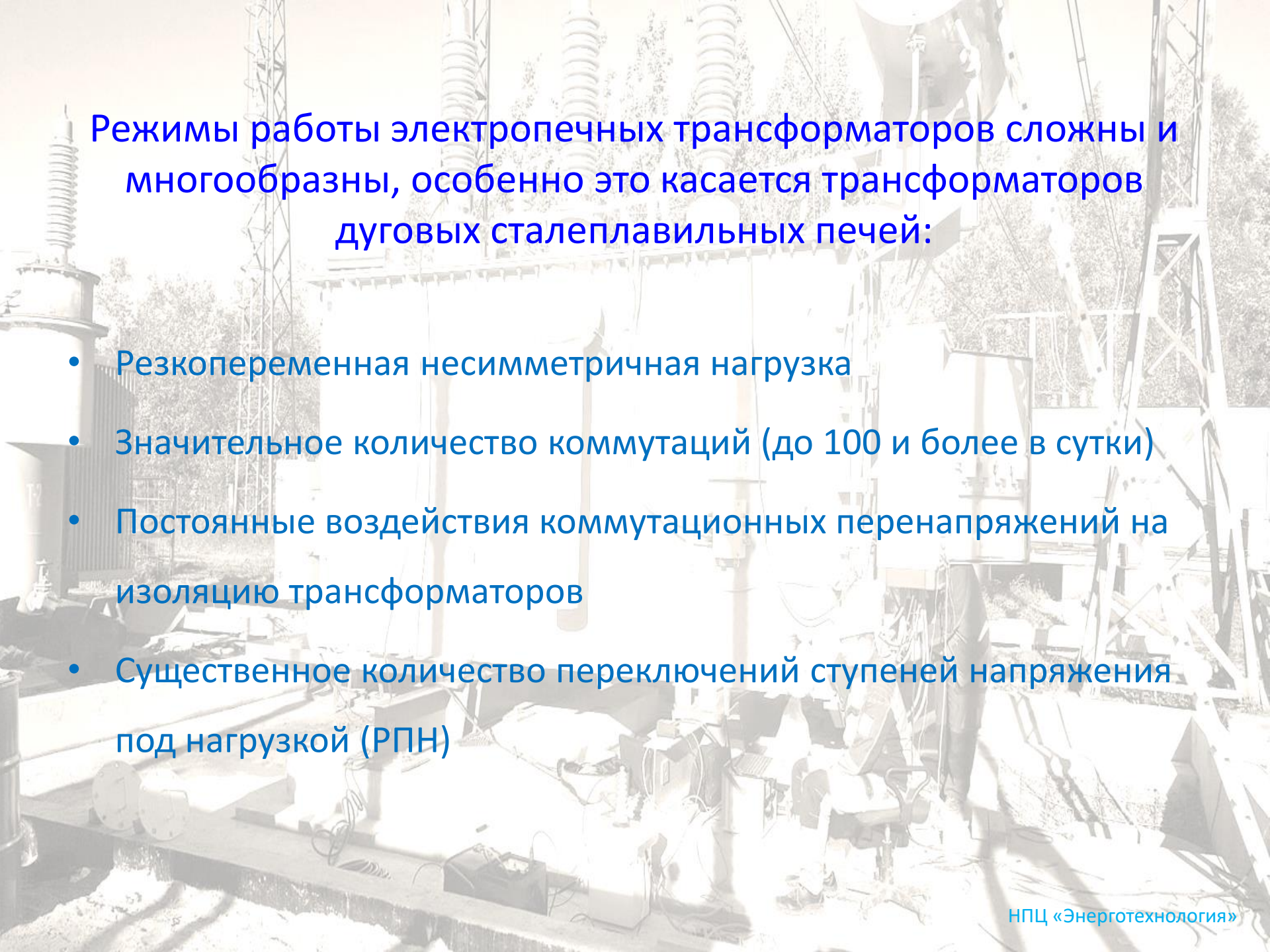


Среди всех электропечей наиболее сложными с точки зрения электроснабжения являются дуговые сталеплавильные печи, работа которых характеризуется следующим.

- Резкопеременный режим работы
- Частые эксплуатационные короткие замыкания
- Несимметричная нагрузка
- Нелинейность сопротивления дуги и, как следствие, несинусоидальный характер нагрузки
- Высокое значение потребляемой реактивной мощности

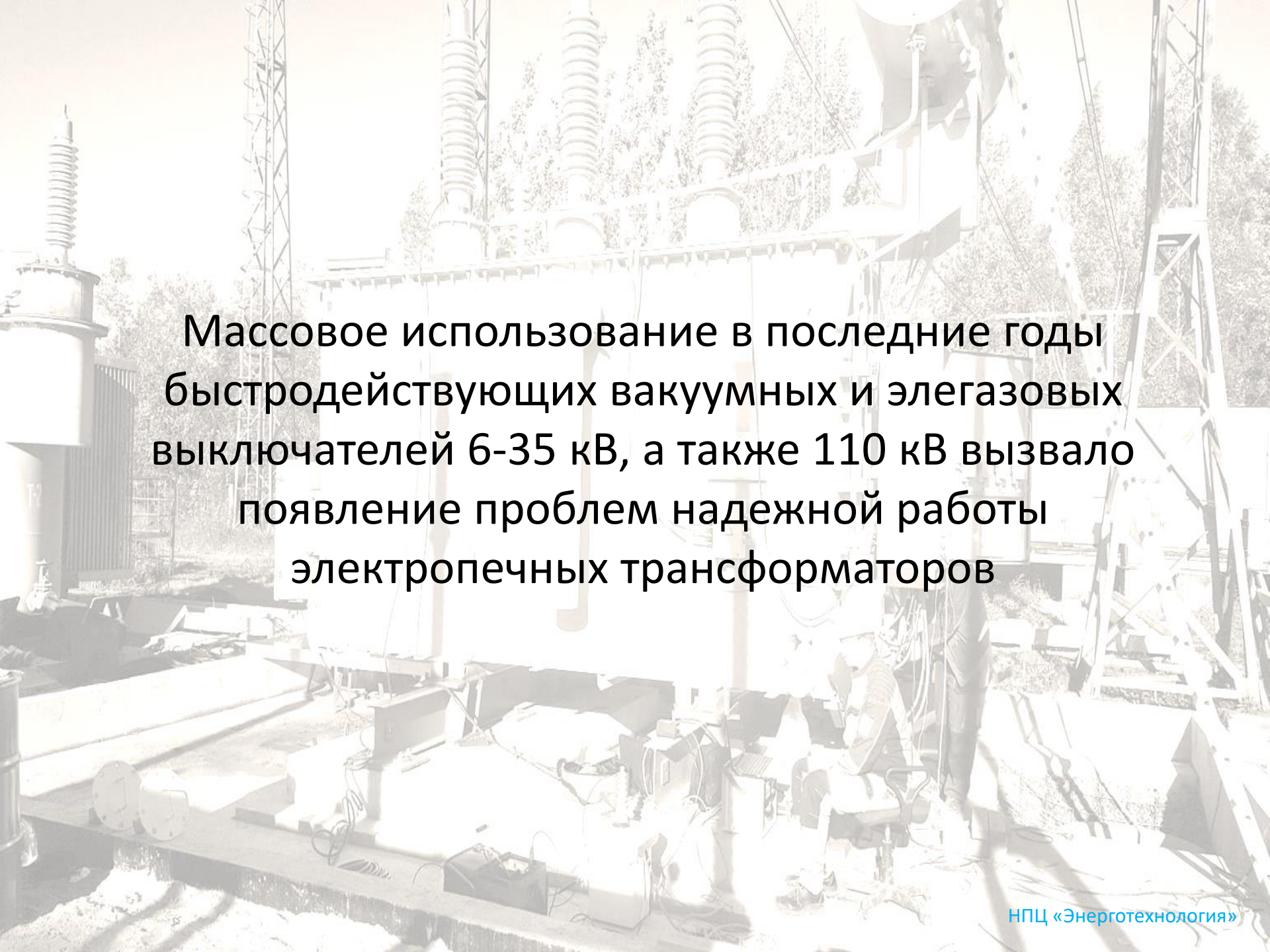


Характерный график изменения токов при работе ДСП

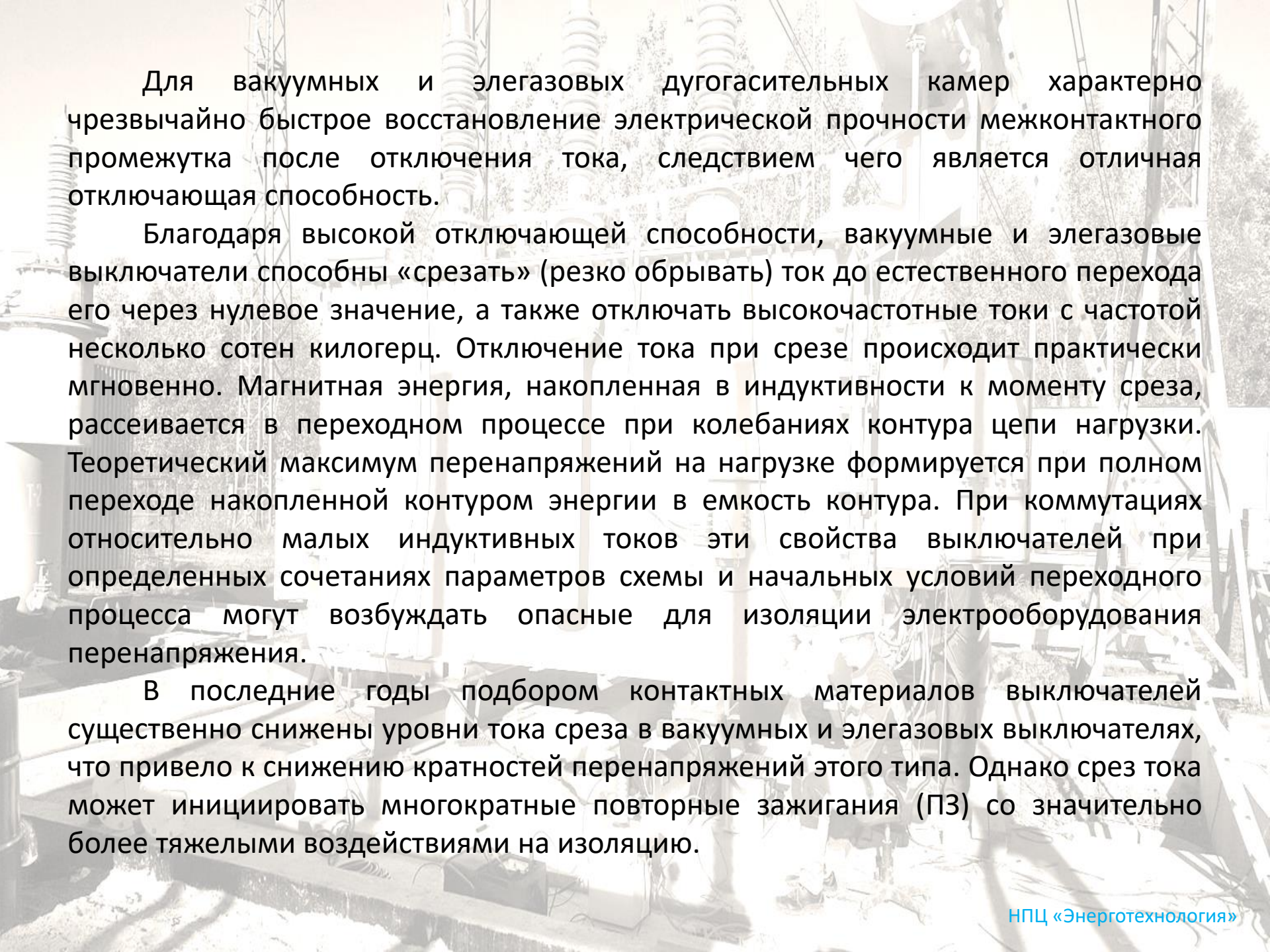


Режимы работы электропечных трансформаторов сложны и многообразны, особенно это касается трансформаторов дуговых сталеплавильных печей:

- Резкопеременная несимметричная нагрузка
- Значительное количество коммутаций (до 100 и более в сутки)
- Постоянные воздействия коммутационных перенапряжений на изоляцию трансформаторов
- Существенное количество переключений ступеней напряжения под нагрузкой (РПН)



Массовое использование в последние годы
быстродействующих вакуумных и элегазовых
выключателей 6-35 кВ, а также 110 кВ вызвало
появление проблем надежной работы
электропечных трансформаторов



Для вакуумных и элегазовых дугогасительных камер характерно чрезвычайно быстрое восстановление электрической прочности межконтактного промежутка после отключения тока, следствием чего является отличная отключающая способность.

Благодаря высокой отключающей способности, вакуумные и элегазовые выключатели способны «срезать» (резко обрывать) ток до естественного перехода его через нулевое значение, а также отключать высокочастотные токи с частотой несколько сотен килогерц. Отключение тока при срезе происходит практически мгновенно. Магнитная энергия, накопленная в индуктивности к моменту среза, рассеивается в переходном процессе при колебаниях контура цепи нагрузки. Теоретический максимум перенапряжений на нагрузке формируется при полном переходе накопленной контуром энергии в емкость контура. При коммутациях относительно малых индуктивных токов эти свойства выключателей при определенных сочетаниях параметров схемы и начальных условий переходного процесса могут возбуждать опасные для изоляции электрооборудования перенапряжения.

В последние годы подбором контактных материалов выключателей существенно снижены уровни тока среза в вакуумных и элегазовых выключателях, что привело к снижению кратностей перенапряжений этого типа. Однако срез тока может инициировать многократные повторные зажигания (ПЗ) со значительно более тяжелыми воздействиями на изоляцию.

Природу возникновения повторных зажигания можно объяснить с использованием рис. 1.

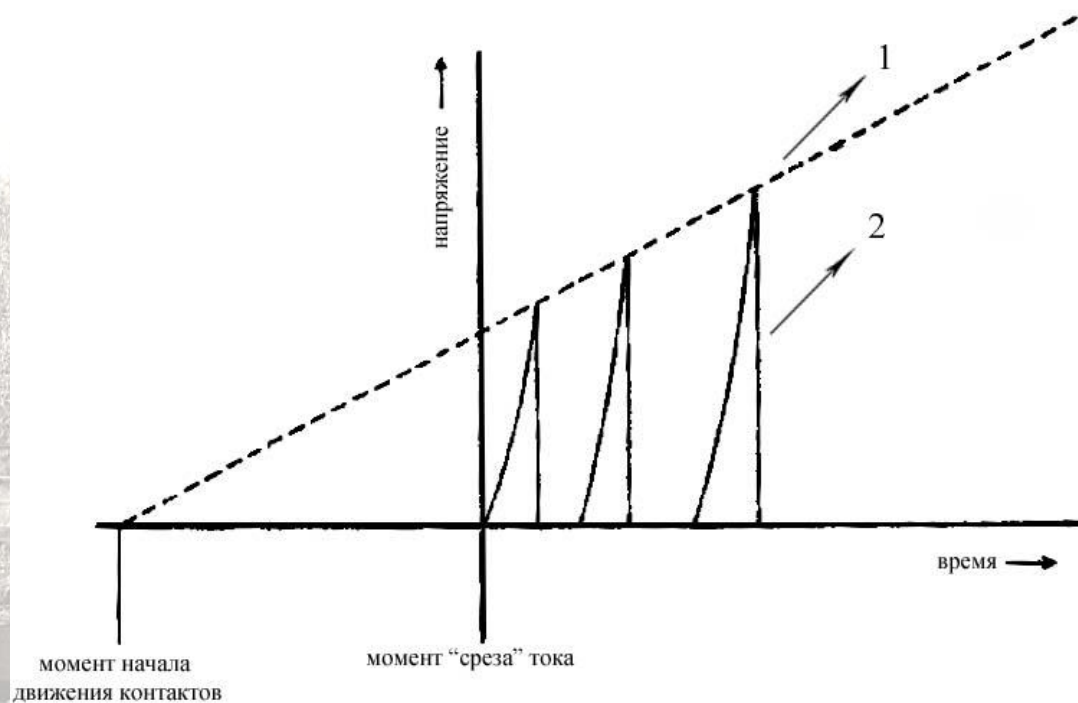


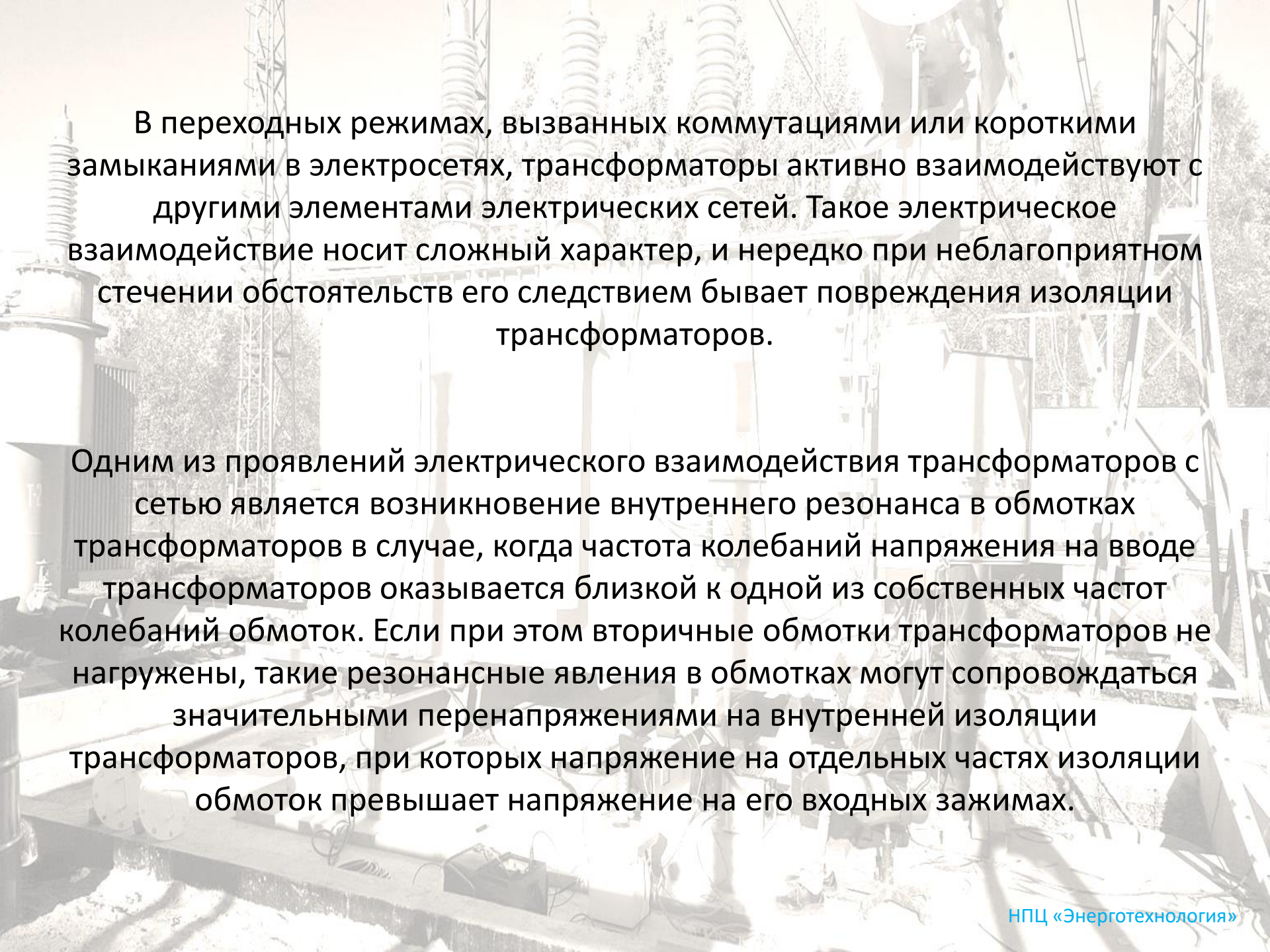
Рис. 1. Механизм возникновения повторных зажиганий
1 – межконтактная электрическая прочность;
2 – переходное восстанавливающееся напряжение.

В процессе многократных ПЗ прочность межконтактного промежутка нарастает. При этом растут также напряжения ПЗ и амплитуды токов ВЧ колебаний. В зависимости от параметров схемы, характеристик восстанавливающейся прочности промежутка выключателя, а также от интервала времени между моментом отделения контактов выключателя и следующим за ним моментом отключения тока возможны два варианта завершения процесса многократных ПЗ:

1. После многократных ПЗ выключатель перестает отключать ток, поскольку мгновенное значение тока рабочей частоты превышает максимальное значение ВЧ тока и суммарный ток не переходит через нулевое значение. Дуга в промежутке горит в течение полупериода рабочей частоты, а отключение тока нагрузки происходит при следующем переходе его через нулевое значение без ПЗ, поскольку к этому моменту восстанавливается полная прочность промежутка выключателя.

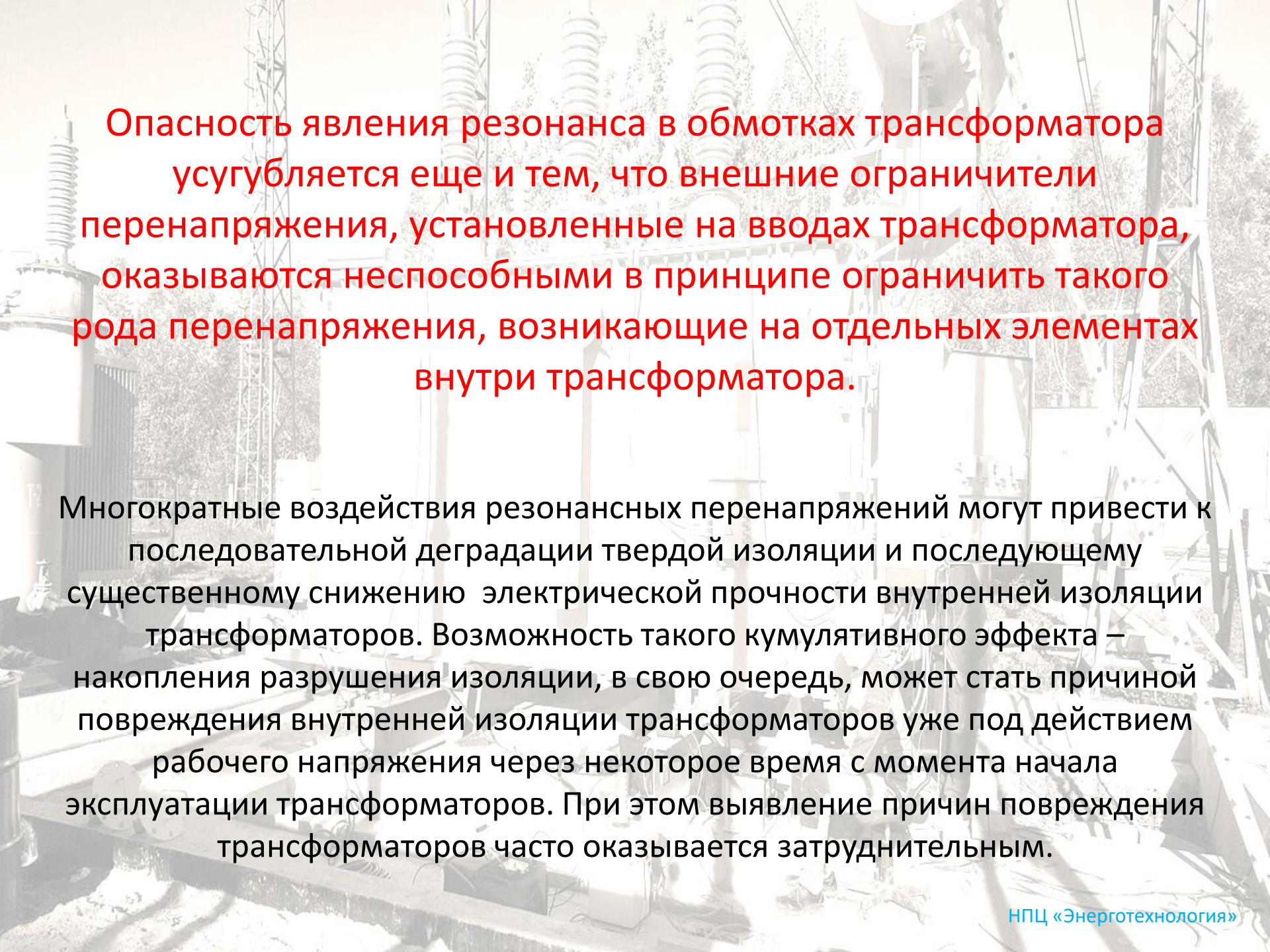
2. Отключение происходит при первом переходе тока через нулевое значение, когда в процессе многократных ПЗ нарастающая прочность межконтактного промежутка превышает переходное восстанавливающееся напряжение на контактах.

В реальных условиях, особенно при большом количестве ПЗ, значения перенапряжений на зажимах трансформаторов могут существенно превышать уровни допустимых воздействий на изоляцию. В таких случаях только применение защиты от перенапряжений может обеспечить надежную эксплуатацию трансформаторного оборудования.



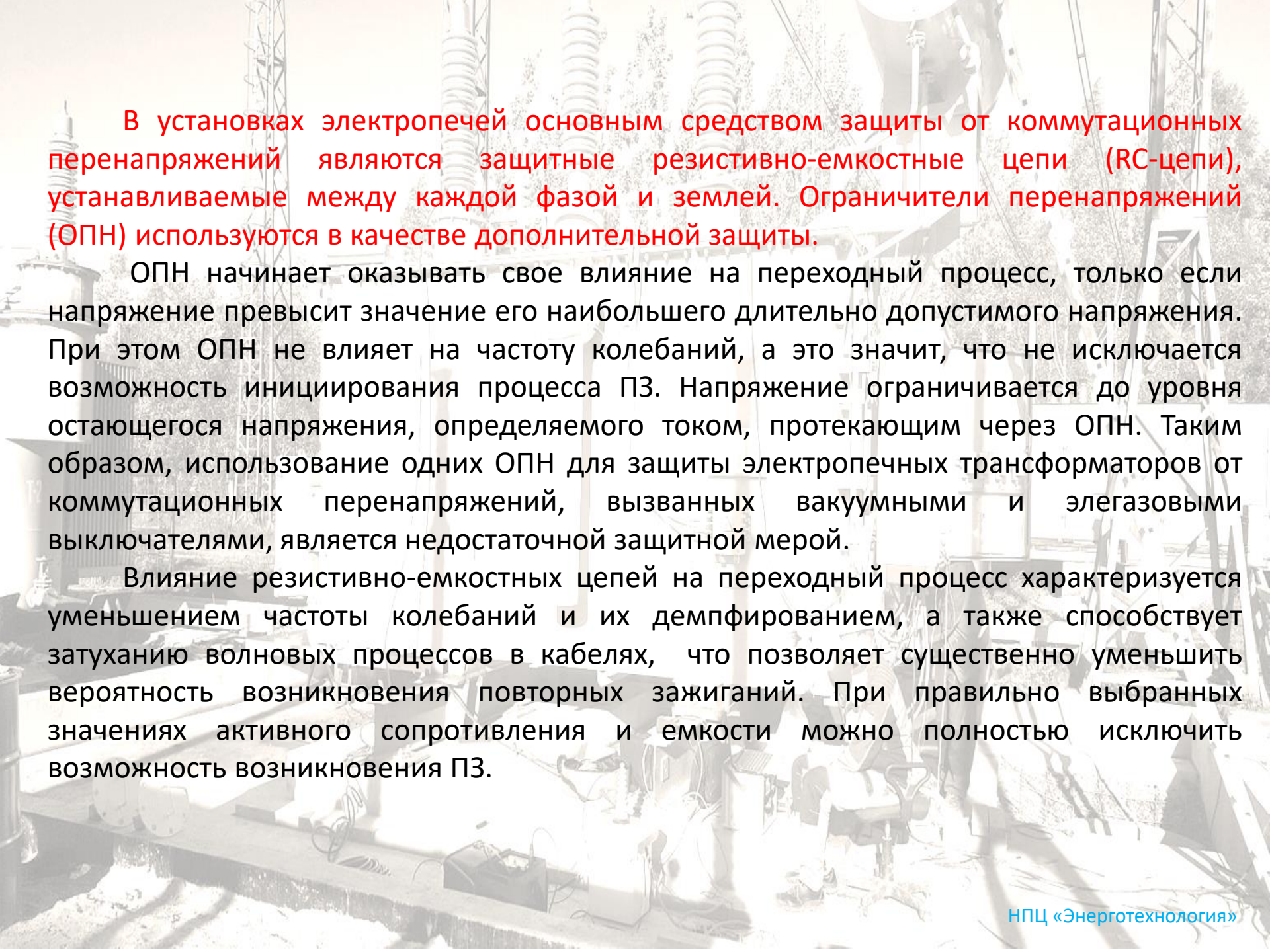
В переходных режимах, вызванных коммутациями или короткими замыканиями в электросетях, трансформаторы активно взаимодействуют с другими элементами электрических сетей. Такое электрическое взаимодействие носит сложный характер, и нередко при неблагоприятном стечении обстоятельств его следствием бывает повреждения изоляции трансформаторов.

Одним из проявлений электрического взаимодействия трансформаторов с сетью является возникновение внутреннего резонанса в обмотках трансформаторов в случае, когда частота колебаний напряжения на вводе трансформаторов оказывается близкой к одной из собственных частот колебаний обмоток. Если при этом вторичные обмотки трансформаторов не нагружены, такие резонансные явления в обмотках могут сопровождаться значительными перенапряжениями на внутренней изоляции трансформаторов, при которых напряжение на отдельных частях изоляции обмоток превышает напряжение на его входных зажимах.



Опасность явления резонанса в обмотках трансформатора усугубляется еще и тем, что внешние ограничители перенапряжения, установленные на вводах трансформатора, оказываются неспособными в принципе ограничить такого рода перенапряжения, возникающие на отдельных элементах внутри трансформатора.

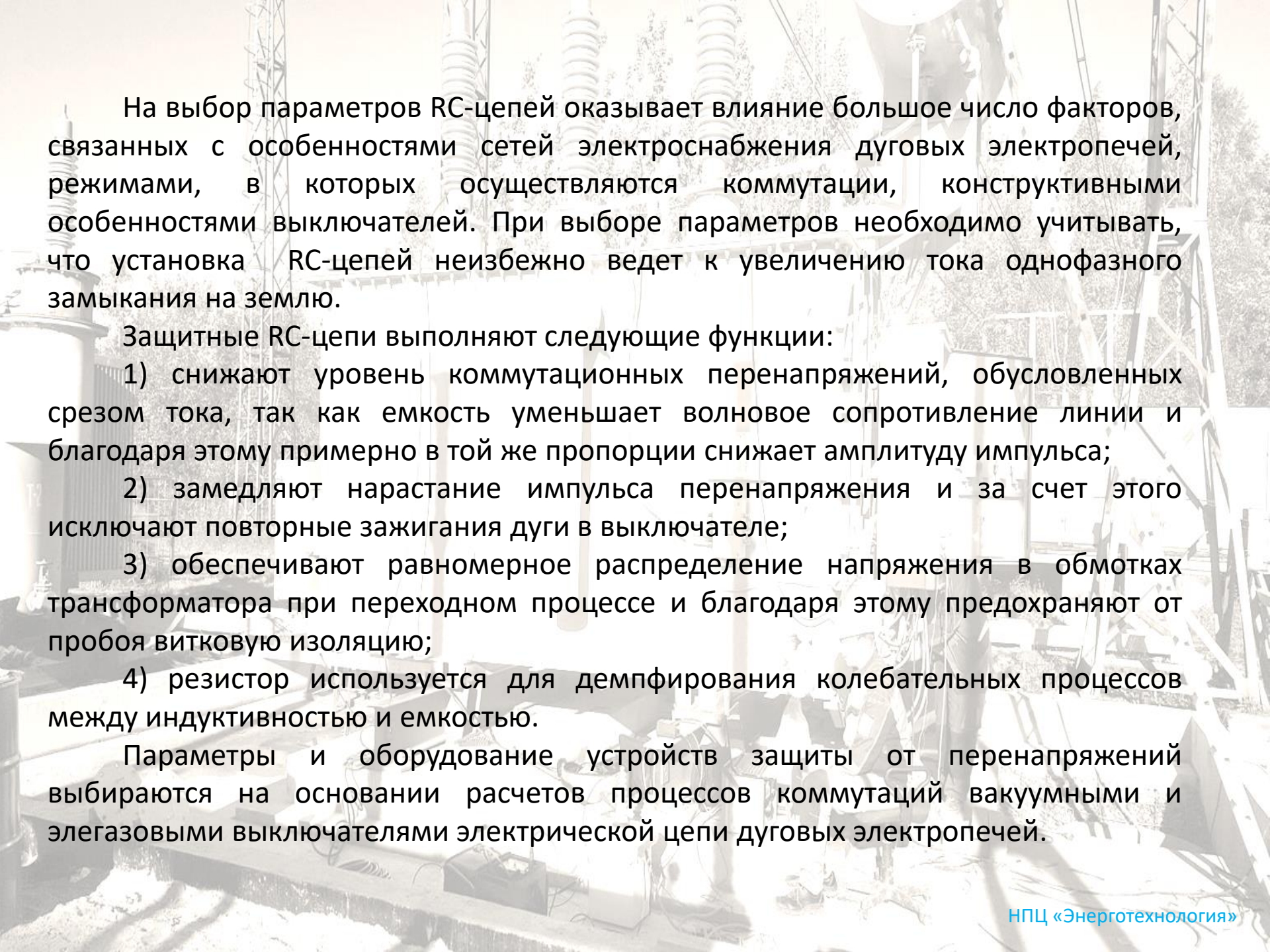
Многократные воздействия резонансных перенапряжений могут привести к последовательной деградации твердой изоляции и последующему существенному снижению электрической прочности внутренней изоляции трансформаторов. Возможность такого кумулятивного эффекта – накопления разрушения изоляции, в свою очередь, может стать причиной повреждения внутренней изоляции трансформаторов уже под действием рабочего напряжения через некоторое время с момента начала эксплуатации трансформаторов. При этом выявление причин повреждения трансформаторов часто оказывается затруднительным.



В установках электропечей основным средством защиты от коммутационных перенапряжений являются защитные резистивно-емкостные цепи (RC-цепи), устанавливаемые между каждой фазой и землей. Ограничители перенапряжений (ОПН) используются в качестве дополнительной защиты.

ОПН начинает оказывать свое влияние на переходный процесс, только если напряжение превысит значение его наибольшего длительно допустимого напряжения. При этом ОПН не влияет на частоту колебаний, а это значит, что не исключается возможность инициирования процесса ПЗ. Напряжение ограничивается до уровня остающегося напряжения, определяемого током, протекающим через ОПН. Таким образом, использование одних ОПН для защиты электропечных трансформаторов от коммутационных перенапряжений, вызванных вакуумными и элегазовыми выключателями, является недостаточной защитной мерой.

Влияние резистивно-емкостных цепей на переходный процесс характеризуется уменьшением частоты колебаний и их демпфированием, а также способствует затуханию волновых процессов в кабелях, что позволяет существенно уменьшить вероятность возникновения повторных зажигания. При правильно выбранных значениях активного сопротивления и емкости можно полностью исключить возможность возникновения ПЗ.



На выбор параметров RC-цепей оказывает влияние большое число факторов, связанных с особенностями сетей электроснабжения дуговых электропечей, режимами, в которых осуществляются коммутации, конструктивными особенностями выключателей. При выборе параметров необходимо учитывать, что установка RC-цепей неизбежно ведет к увеличению тока однофазного замыкания на землю.

Защитные RC-цепи выполняют следующие функции:

- 1) снижают уровень коммутационных перенапряжений, обусловленных срезом тока, так как емкость уменьшает волновое сопротивление линии и благодаря этому примерно в той же пропорции снижает амплитуду импульса;
- 2) замедляют нарастание импульса перенапряжения и за счет этого исключают повторные зажигания дуги в выключателе;
- 3) обеспечивают равномерное распределение напряжения в обмотках трансформатора при переходном процессе и благодаря этому предохраняют от пробоя витковую изоляцию;
- 4) резистор используется для демпфирования колебательных процессов между индуктивностью и емкостью.

Параметры и оборудование устройств защиты от перенапряжений выбираются на основании расчетов процессов коммутаций вакуумными и элегазовыми выключателями электрической цепи дуговых электропечей.

На основе анализа схемы энергоснабжения объекта разрабатывается схема расчетной модели.

Блоками X_c , Z_n моделируются соответственно реактанс системы и сопротивление нагрузки.

Для моделирования кабельных линий электропередачи, питающего и печного трансформатора используются специальные модели АТР. На схемах данные модели представлены соответственно блоками «Модель КЛ», «Модель питающего трансформатора» и «Модель печного трансформатора».

Блоки QO и QD представляют собой управляемые ключи и моделируют процесс коммутации оперативным и защитным выключателем в соответствии с заданными параметрами.

Средства защиты от перенапряжений в расчетных подсистемах представлены блоками R и C, которые моделируют защитные RC-цепи и блоками SA, которые моделируют работу нелинейных ограничителей перенапряжений.

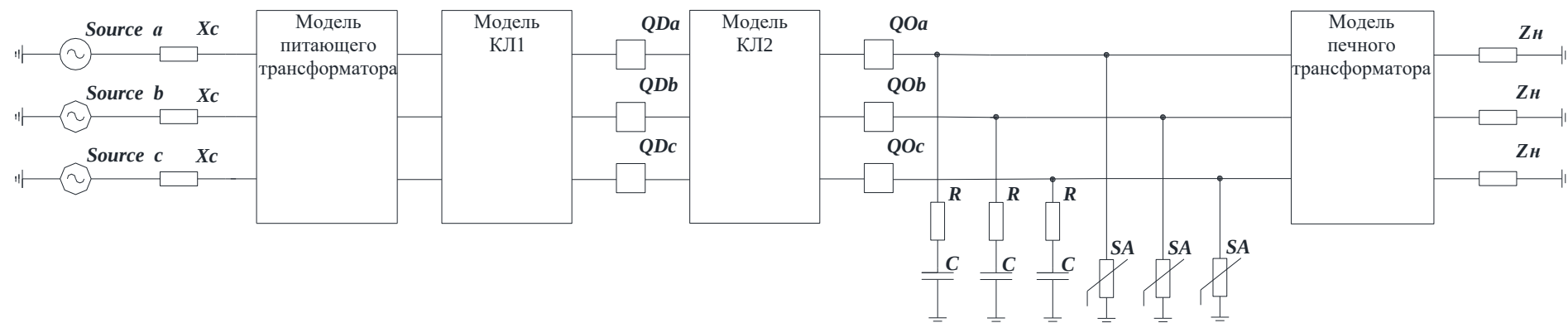


Рис. 2. Схема расчетной модели для выбора параметров защитных RC-цепей.

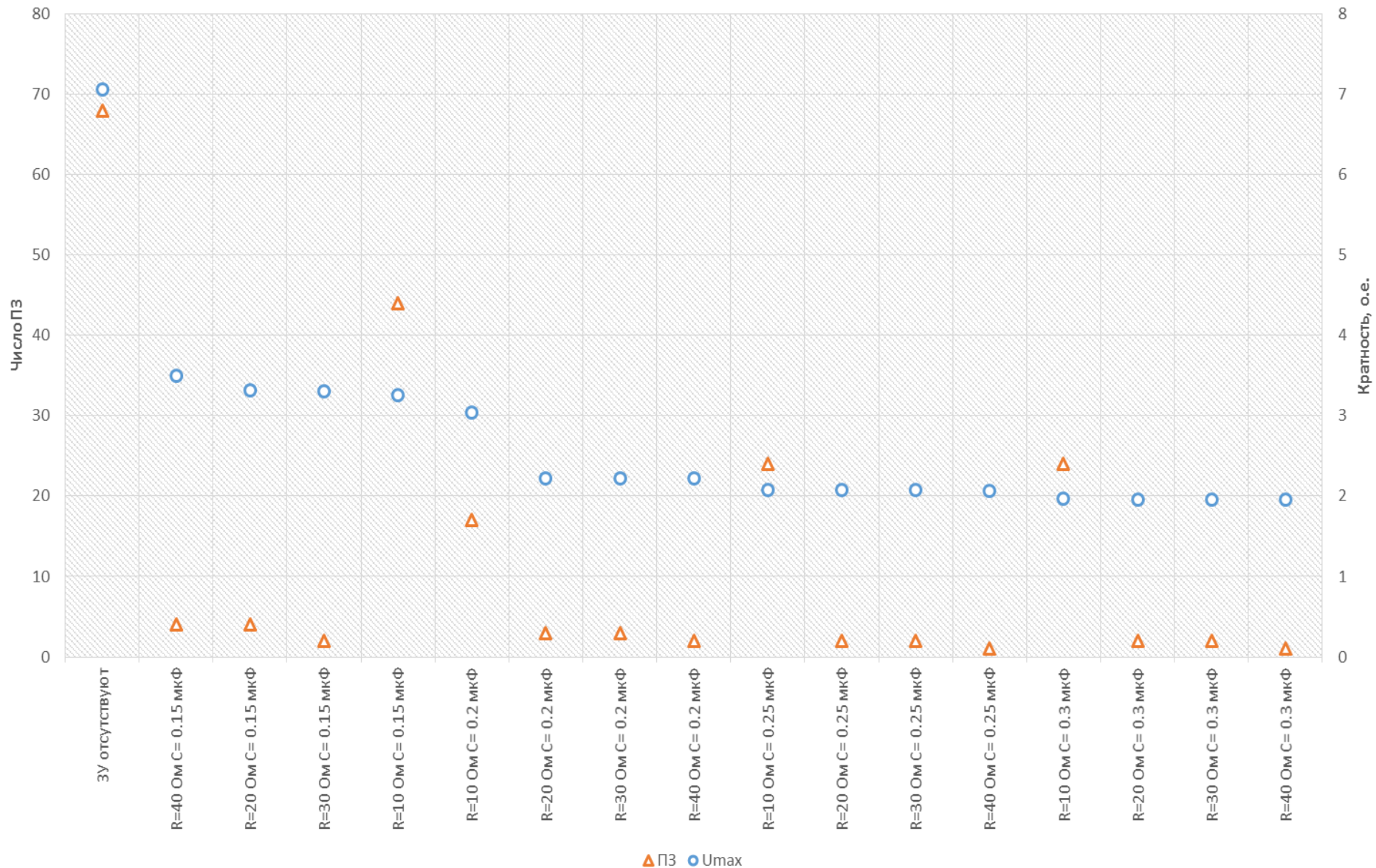


Рис. 3. Максимальная расчетная кратность перенапряжений и максимальное расчетное количество ПЗ при различных вариантах защиты.

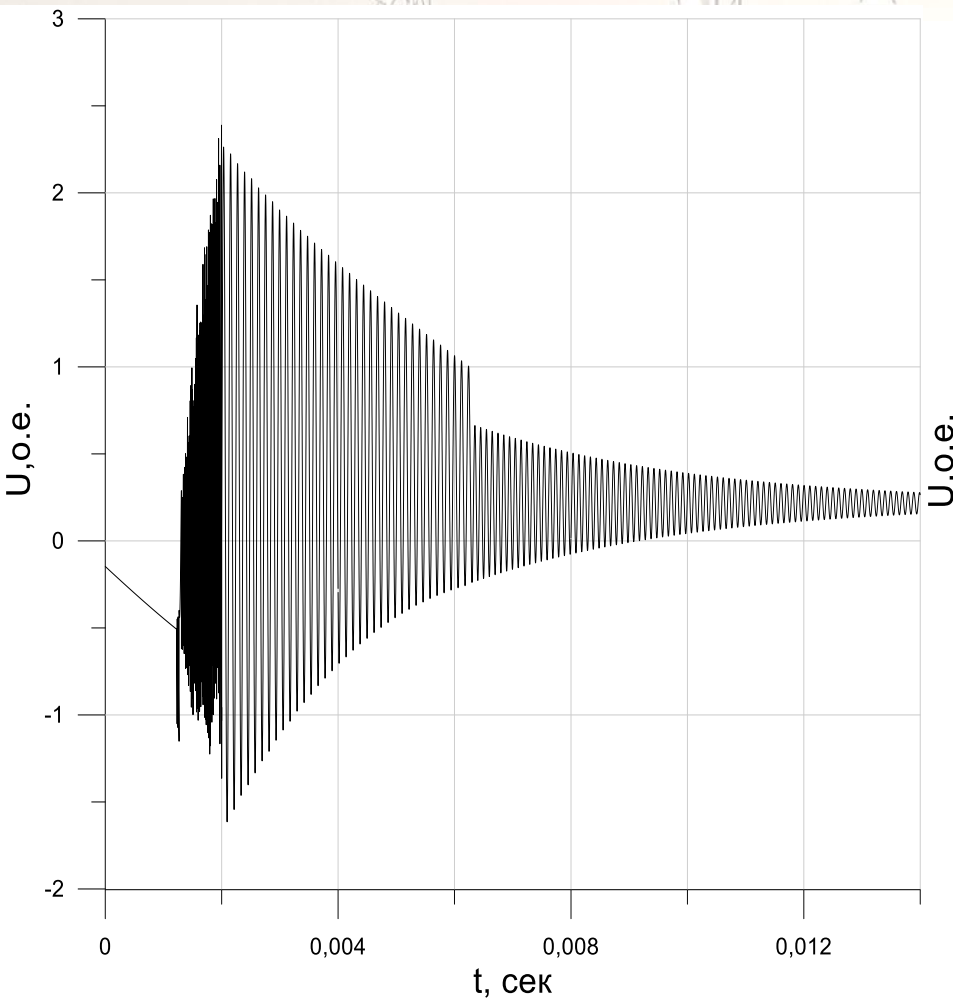


Рис. 4. Расчетная осциллограмма напряжения на отключаемой фазе трансформатора при коммутации в режиме пониженной нагрузки. Защита от перенапряжений осуществляется при помощи ОПН.

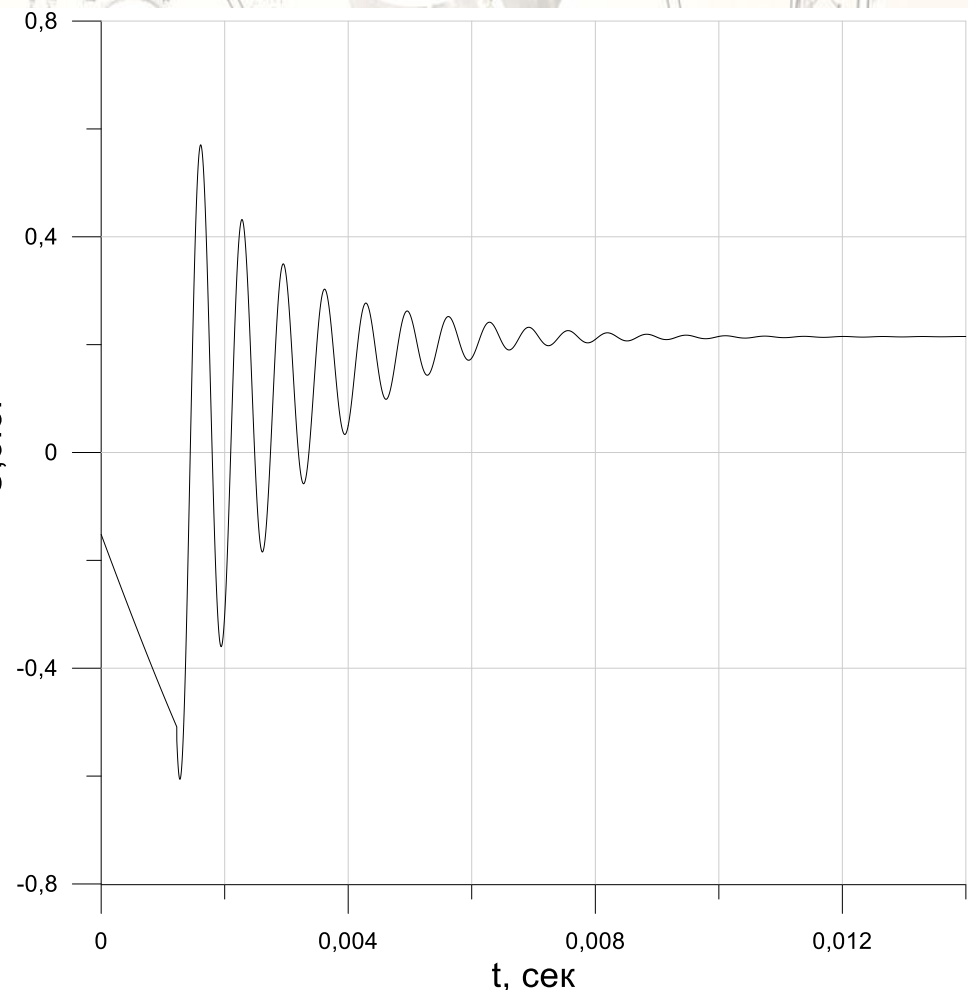


Рис. 5. Расчетная осциллограмма напряжения на отключаемой фазе трансформатора при коммутации в режиме пониженной нагрузки. Защита от перенапряжений осуществляется при помощи ОПН и RC-цепей.

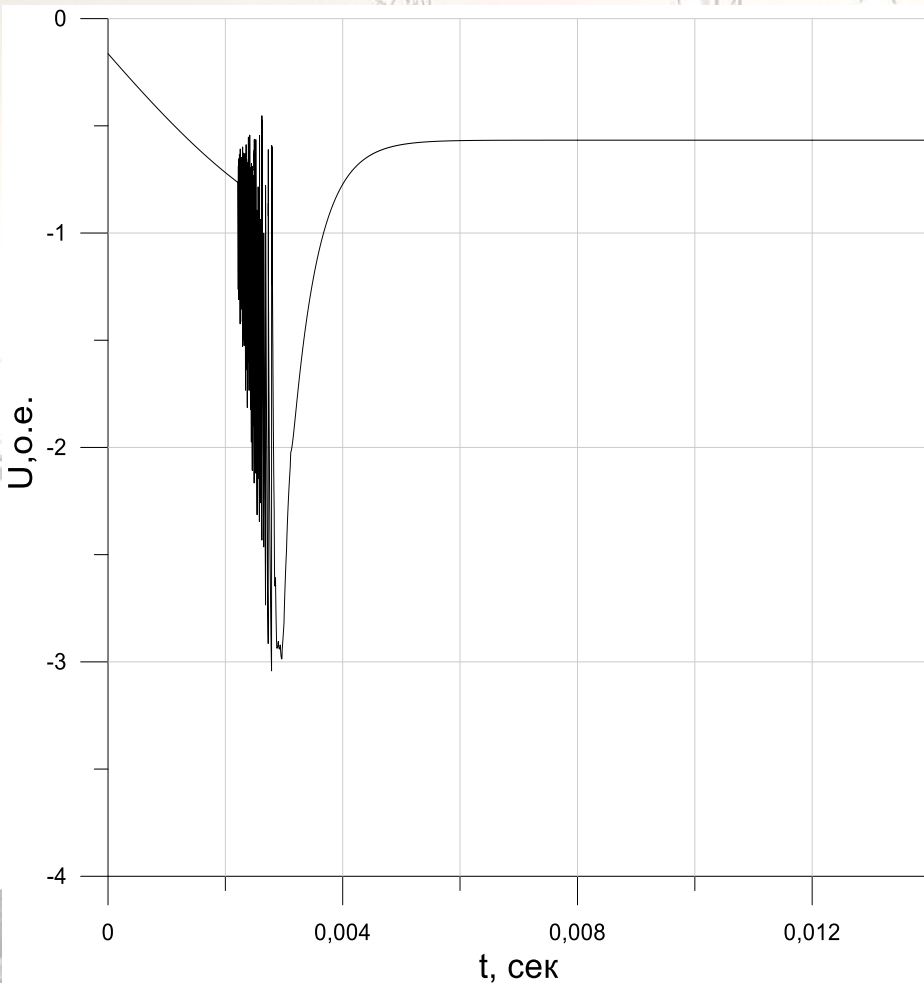


Рис. 6. Расчетная осциллограмма напряжения на отключаемой фазе трансформатора при коммутации в режиме холостого хода. Защита от перенапряжений осуществляется при помощи ОПН.

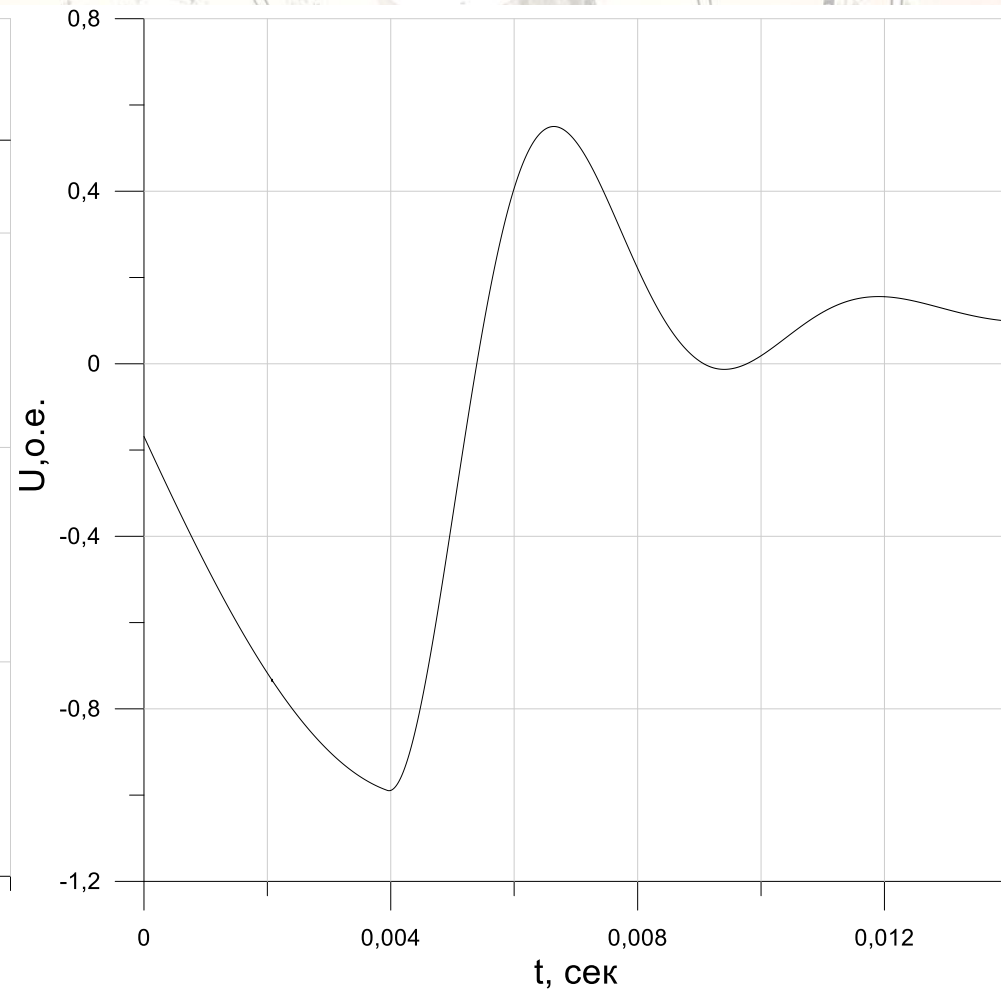


Рис. 7. Расчетная осциллограмма напряжения на отключаемой фазе трансформатора при коммутации в режиме холостого хода. Защита от перенапряжений осуществляется при помощи ОПН и RC-цепей.

ВЫВОДЫ

1) Из-за применения вакуумных и элегазовых выключателей на напряжениях 6-35 и 110 кВ, перенапряжения в различных эксплуатационных режимах могут достигать 7-ми кратных значений, количество повторных зажигания дуги – 70, что представляет опасность как для основной, так и для витковой изоляции печных трансформаторов.

2) Электropечной трансформатор – сердце электропечи! Вследствие их уникальности, большой мощности (до 200 МВА и выше) и сложности конструкции, отказы таких трансформаторов из-за повреждения изоляции приводят к колоссальным экономическим ущербам в металлургическом производстве:

- дорогостоящим ремонтам
- остановке производства
- нарушению планов выпуска готовой продукции

3) Совместное применение ОПН и RC-цепей в качестве защитных аппаратов является объективной необходимостью в схемах питания электропечных установок, позволяет, при правильном выборе, снизить уровни перенапряжений до 2-х крат и, что принципиально важно, ограничить количество повторных зажигания дуги до 2-3 и таким образом предупредить пробой изоляции мощных печных трансформаторов.



Спасибо за внимание!