

# О ПОВЫШЕНИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ КАБЕЛЕЙ С ПЛАСТМАССОВОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ В ГОРОДСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

*Лавров Ю.А. (Новосибирский государственный технический университет)*

## **Постановка задачи.**

В условиях физического и морального износа электротехнического высоковольтного оборудования и кабельных линий (КЛ) одной из главных задач системы электроснабжения потребителей в крупных городах-мегаполисах является сохранение ее устойчивого функционирования. Эта задача может быть решена при выполнении, в том числе, следующих условий:

- технического перевооружения распределительных кабельных сетей (РКС) на основе внедрения современных видов электрооборудования и КЛ нового поколения с улучшенными эксплуатационными и технико-экономическими показателями;
- внедрения в практику прогрессивных технологий диагностирования технического состояния КЛ в процессе их эксплуатации;
- проведения своевременной замены и реконструкции КЛ и электрооборудования в РКС.

При сооружении новых и реконструкции старых электросетевых объектов перед проектировщиками, потенциальными заказчиками и эксплуатационным персоналом возникает дилемма: какое оборудование применить – современное с улучшенными технико-экономическими показателями, но дорогостоящее или же морально устаревшее, но более дешевое. Для принятия оптимального решения необходимо быть в курсе современной технической политики, направленной на повышение эксплуатационной надежности и экономичности систем электроснабжения различных классов напряжения. В частности, для предприятий, занимающихся проектированием и эксплуатацией КЛ, важно иметь информацию по следующему ряду проблем и путям их практического решения:

- амплитудно-временные параметры перенапряжений, возникающих в процессе эксплуатации КЛ, и разработка требований к организационно-техническим защитным мерам по ограничению перенапряжений в РКС с учетом применяемых средств системы релейной защиты и системной автоматики, а также аппаратных мер;
- современные методы и средства диагностики технического состояния КЛ, позволяющих на практике превентивно осуществлять замену кабелей с критическими параметрами;
- особенности внедрения в РКС кабелей с пластмассовой изоляцией (КПИ) и коммутационных аппаратов с вакуумной и элегазовой изоляцией.

В процессе эксплуатации КЛ подвергаются перенапряжениям, термическим перегрузкам и механическим воздействиям, что приводит к снижению электрической прочности изоляции кабелей и ее преждевременному старению. Относительно высокая повреждаемость КЛ в РКС заставляет обслуживающий персонал работать в аварийно-восстановительном режиме эксплуатации КЛ, что практически исключает проведение планомерной систематической работы по профилактике технического состояния кабелей и своевременному выявлению электрически локально ослабленных мест. Эксплуатационный персонал в ущерб плановым испытаниям и своевременной диагностике технического состояния КЛ вынужден отвлекать материальные и людские ресурсы на трудоемкие аварийно-восстановительные работы (в основном в неудобный зимне-весенний период) по ликвидации повреждений КЛ.

Несколько облегчить выше отмеченную ситуацию призваны кабели нового поколения, использующих в качестве изоляции сшитый полиэтилен (СПЭ), у которых согласно заверениям заводов-производителей поток отказа на один-два порядка меньше

по сравнению с кабелями с бумажной пропитанной изоляцией (КБПИ). Однако к этим показателям следует относиться не столь оптимистично, поскольку опыт наработки КПИ в отечественных РКС практически отсутствует, а распространение зарубежного опыта эксплуатации КПИ применительно к нашим условиям не совсем корректно. Это обусловлено рядом причин, которые могут в конечном итоге привести к каскадному выходу из строя КПИ после 10-15 лет их эксплуатации.

Опыт эксплуатации КБПИ в отечественных РКС, а также мониторинг различных аномальных режимов эксплуатации в городских кабельных сетях Барнаула и Новосибирска показал, что электрический пробой изоляции при однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ) в 60-70% случаев самоликвидируется и эксплуатационный персонал эти аварийные режимы не фиксирует. Высокая "живучесть" КБПИ обусловлена спецификой диэлектрической среды. В рассматриваемом случае перемежающаяся дуга горит в замкнутом объеме изоляции в месте возникновения ОЗЗ и в зависимости от величины емкостного тока замыкания на землю и скорости восстановления электрической прочности в месте горения дуги аварийный режим может самоликвидироваться.

Иная картина может иметь место при внедрении в распределительную сеть КПИ. При электрическом пробое твердого диэлектрика КПИ не смогут восстановить свою электрическую прочность и любое ОЗЗ будет приводить к устойчивому аварийному режиму. В этом случае эксплуатационному персоналу каждый случай возникновения ОЗЗ необходимо будет устранять. Таким образом, эксплуатационному персоналу следует принимать во внимание невозможность восстановления электрической прочности СПЭ-изоляции и заблаговременно предусмотреть и создать такие условия эксплуатации КПИ, которые минимизировали бы их каскадный выход из строя.

В настоящем докладе делается попытка обосновать необходимость *системного подхода*, который желательно принимать во внимание проектным организациям и эксплуатационному персоналу при внедрении КПИ на стадии проектирования новых и реконструкции старых участков РКС. К основным аспектам, определяющим эксплуатационную надежность КПИ, можно отнести следующие:

- режимы заземления нейтрали в РКС;
- уровни перенапряжений в РКС, возникающие при ОЗЗ с последующим переходом в однофазные дуговые замыкания (ОДЗ) и коммутациях фидеров вакуумными выключателями;
- грамотное проектирование трассы прокладки КПИ;
- интеллектуальная диагностика технического состояния КПИ;
- выбор оптимальных параметров профилактических испытаний КПИ.

#### ***Режимы заземления нейтрали в РКС.***

При поэтапной замене кабелей с бумажной пропитанной изоляцией на КПИ в РКС будут эксплуатироваться в одной электрически связанной схеме кабели с различными механизмами пробоя и деградации электрической изоляции. На рис.1 в качестве примера приведена потенциально возможная схема участка РКС при постепенной замене кабелей традиционного исполнения с большим сроком эксплуатации на кабели нового поколения.

За рубежом кабельные сети эксплуатируются в основном с заземленной нейтралью и при возникновении режима ОЗЗ поврежденный фидер отключается с переводом потребителя на резервное электроснабжение, т.е. изоляционная конструкция «здоровых» фаз КПИ не находится длительное время под линейным напряжением. В зависимости от величины емкостного тока замыкания на землю отечественные РКС эксплуатируются с неэффективно заземленной либо изолированной нейтралью и при возникновении в них режима ОЗЗ изоляция "здоровых" фазах КПИ будет довольно длительно (до 4-6 часов) подвергаться воздействию номинального напряжения. Учитывая этот фактор конструкция отечественных КПИ была адаптирована к условиям эксплуатации в российских РКС за счет увеличения толщины изоляции кабеля номинальным напряжением 10 кВ с 3,4 мм до 4 мм. Таким образом, как бы увеличили инкубационный период зарождения триингов и

время его развития, которые собственно и определяют электрическую прочность и остаточный ресурс КПИ.

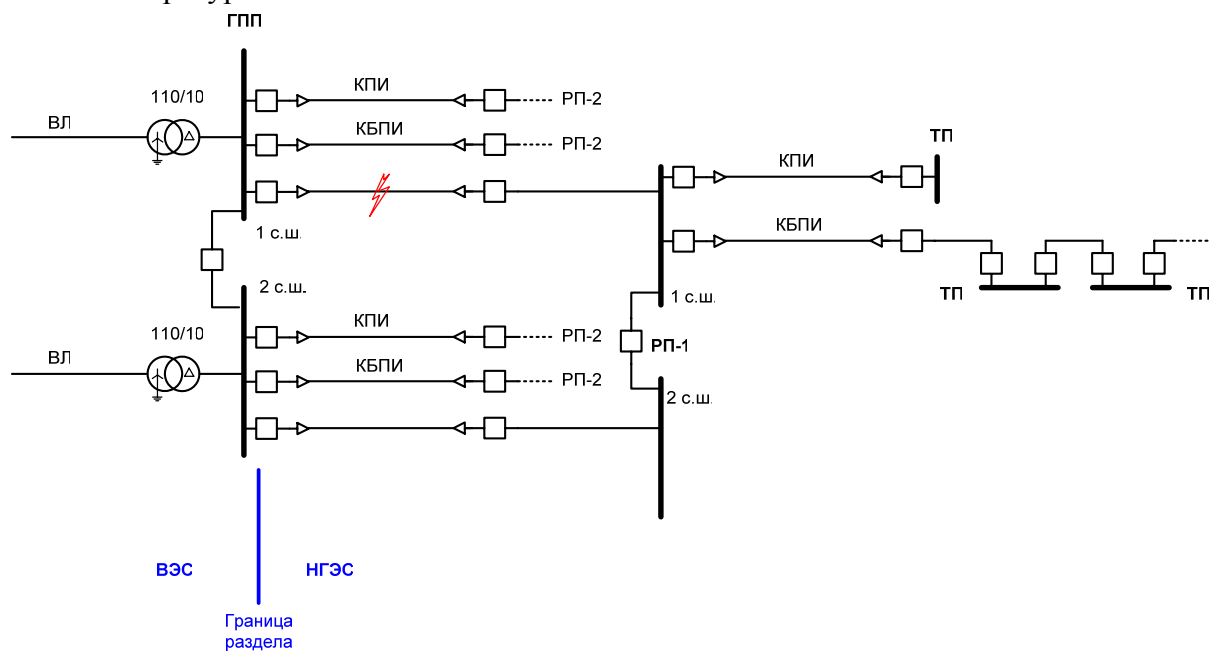


Рис.1 К анализу эксплуатации комбинированной РКС, состоящей из КБИ и КПИ

Следует также обратить внимание на следующее. Согласно [1] в зависимости от значения емкостных токов замыкания на землю, возникшие в РКС режимы ОЗЗ на начальной стадии вследствие запыливания канала электрического пробоя могут самоустраняться через несколько периодов промышленной частоты, либо перейти в режим устойчивого горения дуги, длительностью в единицы и десятки секунд, с последующим переходом в режим глухого металлического замыкания. На начальном этапе ОДЗ повторные пробои в дуговом промежутке происходят при напряжении  $(0,6-1,0)U_{фм}$ , и в дальнейшем с науглероживанием канала электрического пробоя снижаются до  $(0,6-0,8)U_{фм}$ . Возникающие в переходном и установившемся режимах ОДЗ перенапряжения не превышают  $(2,3-2,5)U_{фм}$ . Такие амплитудно-временные параметры перенапряжений в комбинированной РКС могут привести не только к каскадному выходу из строя на участке электрически связанной сети нескольких КБИ с ослабленной изоляцией, но и ускоренной деградации изоляционной конструкции КПИ. Устранить этот неблагоприятный фактор можно при использовании в РКС низкоомного резистивного заземления нейтрали, когда при возможности обеспечения резервного питания поврежденный кабель практически сразу же отключается. Следует отметить, что здесь акцент делается на низкоомное заземление нейтрали. Применение высокоомного заземления в РКС не актуально, поскольку перенапряжения в кабельных сетях при ОДЗ как правило не превышают  $2,5 U_{фм}$ . Определяющим фактором при одновременной эксплуатации в комбинированной РКС кабелей с различной диэлектрической средой является не ограничение перенапряжений, а устранение самого явления длительного воздействия на фазную изоляцию КПИ линейного напряжения и перенапряжений при ОДЗ.

Таким образом, при поэтапном внедрении в РКС кабелей с изоляцией из СПЭ нельзя чисто механически заменять кабели традиционного исполнения на КПИ. Необходимо по возможности создавать для них более мягкие условия эксплуатации, связанные с уменьшением амплитудно-временных параметров перенапряжений при возникновении ОЗЗ и ОДЗ. В этом случае время зарождения и скорость роста триингов в СПЭ-изоляции будет снижена, а срок эксплуатации КПИ увеличен.

### ***Коммутационные перенапряжения в РКС.***

Согласно [1] зарегистрированные в РКС перенапряжения, обусловленные коммутациями выключателями, имеют незначительный уровень –  $(2,1-2,3)U_{фм}$ . Однако в настоящее время на смену масляным выключателям приходит новая коммутационная техника, использующая в качестве дугогасительной среды элегаз или вакуум. Применение вакуумных выключателей (ВВ), обладающих повышенным коммутационным ресурсом, для обслуживающего персонала несомненно благое дело. Однако при включении и отключении фидеров с помощью ВВ на КПИ воздействуют высокочастотные перенапряжения, существенно превышающие значения  $2,3 U_{фм}$ .

В отличие от «мягкой» бумажной пропитанной изоляции твердая изоляция из СПЭ при воздействии высокочастотных перенапряжений со временем более интенсивно подвергается деградации и существенно снижает свои диэлектрические свойства, что обусловлено при резком вводе энергии в твердый диэлектрик разрывом связей на молекулярном уровне между молекулами углерода и водорода. Это приводит к изменению структуры и физико-механических свойств СПЭ и возникновению внутри его микрополостей, которые способствуют более быстрому зарождению и развитию в них электрических триингов.

В городских РКС основные коммутации приходятся на силовые трансформаторы, установленные на РП, ГПП или ТП, и реже на высоковольтные электродвигатели (ЭД), установленные на понизительных насосных станциях. При их отключении с помощью ВВ на изоляцию КПИ могут воздействовать высокочастотные (ВЧ) перенапряжения высокой кратности. При этом инициализация ВЧ-перенапряжений зависит от характеристик вакуумной дугогасительной камеры (ВДК) вакуумного выключателя и характеристик сети. Вероятность повторных зажиганий между расходящимися контактами ВДК зависит от исхода «соревнования» после погасания дуги между растущей электрической прочностью межконтактного промежутка на размыкающихся контактах и переходным восстанавливающимся напряжением на контактах выключателя. Определяющей характеристикой коммутационной способности ВВ является начальная скорость восстановления электрической прочности межконтактного промежутка, которая зависит от конкретного завода изготовителя и находится в диапазоне:

$$U_{э.л.пр.}(t) = k(t+t_0),$$

где

$t_0 = 100...200$  мкс – время между началом расхождения контактов и моментом прохождения тока промышленной частоты в ВВ через нулевое значение,  $k = 30...80$  кВ/мс – скорость роста электрической прочности межконтактного промежутка.

Очевидно, что кратности ВЧ-перенапряжений можно снизить за счет применения в качестве защитных аппаратов нелинейных ограничителей перенапряжений (ОПН), но ОПН не "спасут" КПИ от высокочастотных (градиентных) перенапряжений. Поэтому актуально при внедрении КПИ в принципе отстроиться от воздействия таких перенапряжений, которые также опасны для витковой изоляции ЭД и силовых трансформаторов.

Численные исследования в различных схемах применения КПИ при их отключении ВВ показали, что для исключения повторных пробоев (инициирующих ВЧ-перенапряжения) ВДК должны иметь скорость восстановления электрической прочности межконтактного промежутка не менее 50-60 кВ/мс.

Приведем в качестве примера результаты исследований по анализу условий эксплуатации КПИ, обеспечивающих связь между понизительной насосной станцией ПНС-11 и подстанцией "Воинская" в Новосибирских городских электрических сетях (рис.2).

Параметры схемы следующие:

- для связи ПС "Воинская" с ПНС-11 для основного питания используются два КПИ однофазного исполнения фирмы Nexans напряжением 10 кВ (тип кабеля 3хNA2XS(F)2Y-1х500-RM/70-10; длина КПИ – 2952 м);

- для преобразования напряжения 10 кВ в напряжение 6 кВ в ПНС-11 установлен трансформатор «Т-1» типа ТМН-6300/10 10,5/6,3 кВ;

- РУ 6,10 кВ выполнено закрытого типа на ячейках КМ-1КФ (фирмы КЭМОНТ) и состоит из двух рабочих секций 6 кВ (№1, №2), секции резервного питания 6 кВ (№3), вводной секции 10 кВ (№4);

- РУ предназначено для питания нагрузки напряжением 6 кВ – электродвигателей насосов номинальным напряжением 6 кВ, понижающих трансформаторов 6/0,5 кВ регуляторов частоты, трансформаторов 6/0,4 кВ собственных нужд;

- суммарная мощность для электроснабжения I и II очереди строящейся ПНС-11 6300 кВт (нагрузка первой категории по надежности электроснабжения), мощность I очереди ПНС-11 – 3200 кВт;

- на подстанции "Воинская" для подключения кабельных фидеров, питающих ПНС-11, выделяются две ячейки на разных секциях шин №15 и №51;

- двухсекционное РУ 6 кВ на ПС "Воинская" укомплектовано масляными выключателями типа ВМП-10;

- двухсекционное РУ 6 кВ ПНС-11 укомплектовано ячейками типа КМ-1КФ, в которых установлены вакуумные выключатели типа 3АН5 фирмы "Simens";

- режимы работы ПНС-11 на первой секции шин: режим №1 - СН-1, режим №2 – СН-1+СН3+СН5; на второй секции аналогично; в целом на ПНС-11 максимальное количество одновременно работающих двигателей – 6 (остальные находятся в резерве).

Расчеты при варьировании скорости восстановления электрической прочности (СВЭП) в диапазоне 30-90 кВ/мс показали, что при коммутации КПИ длиной 2,95 км никаких опасений не должно возникать, поскольку при такой длине кабеля частоты восстанавливающегося напряжения на расходящихся контактах ВДК относительно не большие и повторные пробои в ВДК не возникают (рис.3,а и б). Частота восстанавливающегося напряжения на контактах (ВНК) определяется наложением на промышленную частоту высокочастотной составляющей, обусловленной параметрами коммутируемого кабеля и эквивалентного кабеля остальных присоединений, а также составляющей средней частоты в основном определяемой индуктивностью источников питания и емкостью всех кабелей. При уменьшении длины КПИ на порядок за счет увеличения частоты ВНК в ВДК происходят повторные пробои и на КПИ воздействуют высокочастотные перенапряжения (рис.3, в и г).

Исследования показали, что для рассматриваемой схемы электроснабжения ПНС-11 с помощью КПИ предельная СВЭП ВДК должна быть не менее 28 кВ/мс (рис.4). На ПНС-11 в ячейках КМ-1КФ установлены вакуумные выключатели типа 3АН5 фирмы "Simens". В настоящее время эти ВВ обладают СВЭП ВДК в среднем не менее 40-50 кВ/мс. Таким образом, при отключении вакуумным выключателем со стороны ПНС-11 КПИ относительно большой протяженности на кабель не будут воздействовать ВЧ-перенапряжения и выдвигать какие-либо требования к параметрам ВВ нет необходимости.

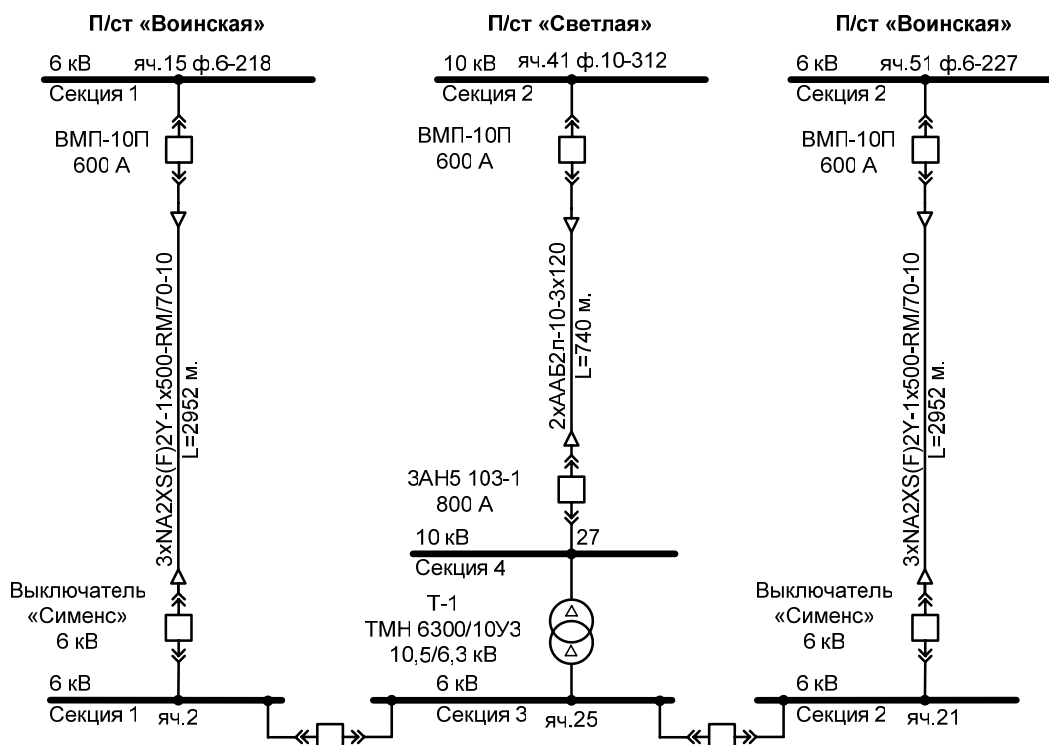
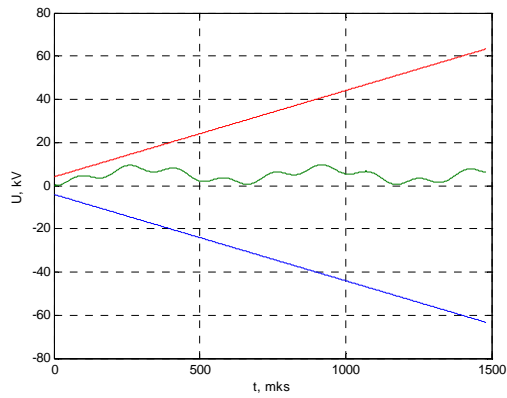


Рис.2 Схема электроснабжения ПНС-11 с помощью КПИ 10 кВ

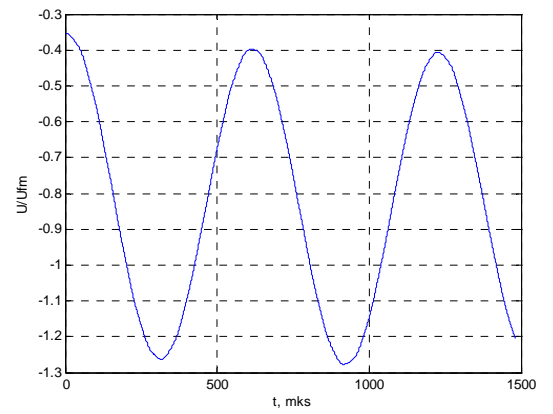
Несколько иная картина наблюдается при отключении ВВ высоковольтных ЭД, присоединенных к секции шин через кабели с бумажной пропитанной изоляцией длиной 50-60 метров. В этом случае высокая частота восстанавливающегося напряжения на расходящихся контактах ВДК способствует превышению ВНК над СВЭП и возникают повторные пробои, инициирующие ВЧ-перенапряжения, воздействующие на изоляции ЭД и КПИ (рис.5). В этом случае ОПН, установленный в ячейках не защищает ЭД. При установке же ОПН на двигателе за счет изменения вида кривой ВНК повторных пробоев не наблюдается.

Следует отметить, что если определяющая характеристика коммутационной способности ВВ (начальная СВЭП межконтактного промежутка) будет отвечать требованиям международного стандарта IEEE Std C37.013 и составлять не менее 425 кВ/мс, то проблем при отключении ЭД вакуумными выключателями не будет. В настоящее время фирма Simens декларирует еще более высокие показатели начальной СВЭП межконтактного промежутка для выпускаемых ими ВВ.

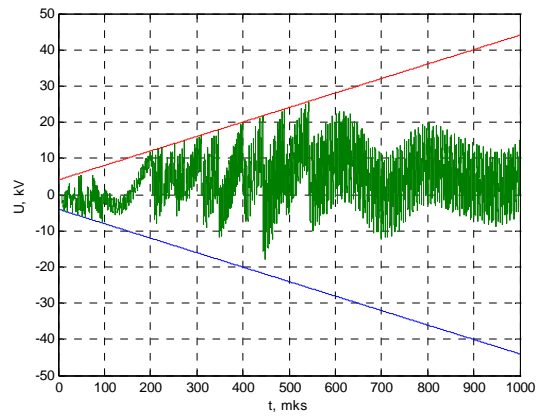
Исследования показали, что в рассматриваемой схеме применения КПИ при отключении со стороны ПНС-11 вакуумным выключателем кабельной вставки с изоляцией из СПЭ на КПИ не воздействуют ВЧ-перенапряжения. Это обусловлено низкой частотой восстанавливающегося напряжения на межконтактном промежутке из-за относительно большой длины КПИ. При использовании ВВ с начальной СВЭП межконтактного промежутка не менее 30 кВ/мс в ВДК не будут наблюдаться повторные пробои. В настоящее время фирма Simens выпускает ВВ с параметрами СВЭП не менее 40-60 кВ/мс. Таким образом, в исследуемой схеме при коммутации вакуумными выключателями кабелей с пластмассовой изоляцией на них не будут воздействовать ВЧ-перенапряжения высокой кратности, инициирующие ускоренную деградацию СПЭ-изоляции.



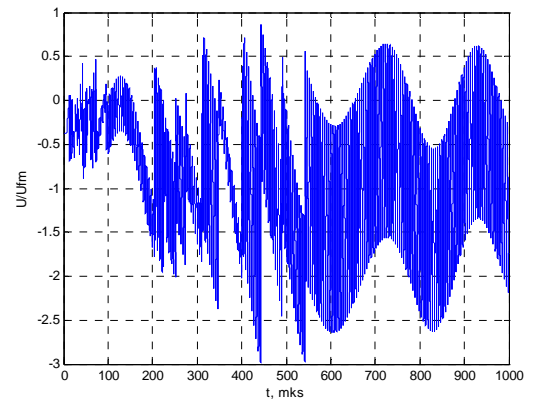
а)



б)

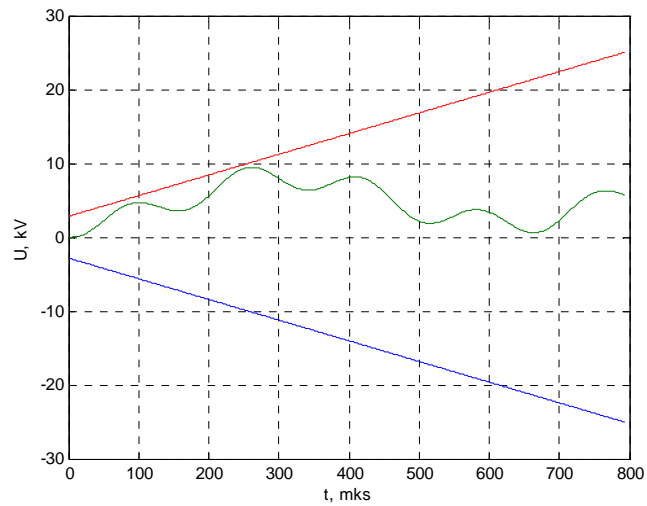


в)

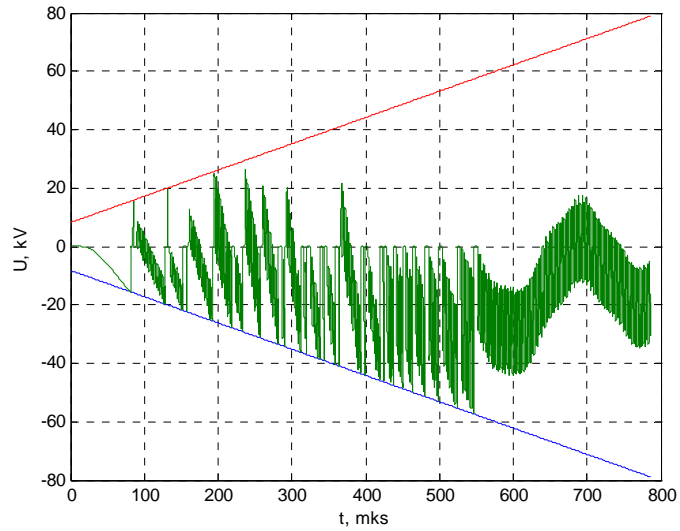


г)

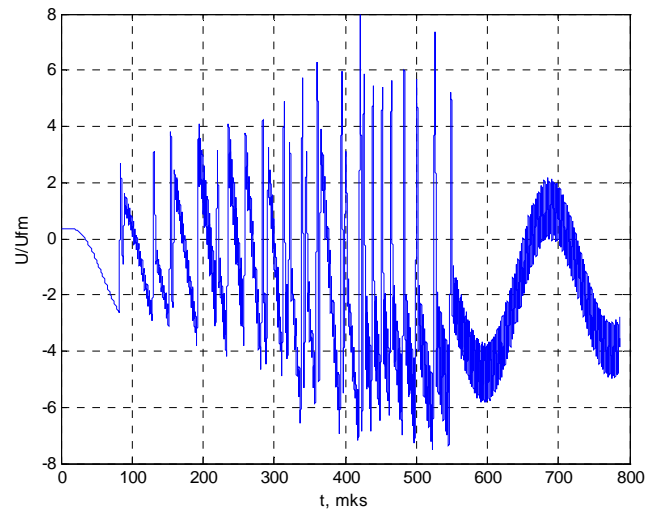
**Рис.3** Кривые скорости восстановления электрической прочности на межконтактном промежутке (а, в) и уровни перенапряжений на КПИ (б, г) при отключении кабельной линии вакуумным выключателем со стороны ПНС-11: СВЭП – 40 кВ/мс, длина КПИ 2,95 км (а, б) и 0,295 км (в,г)



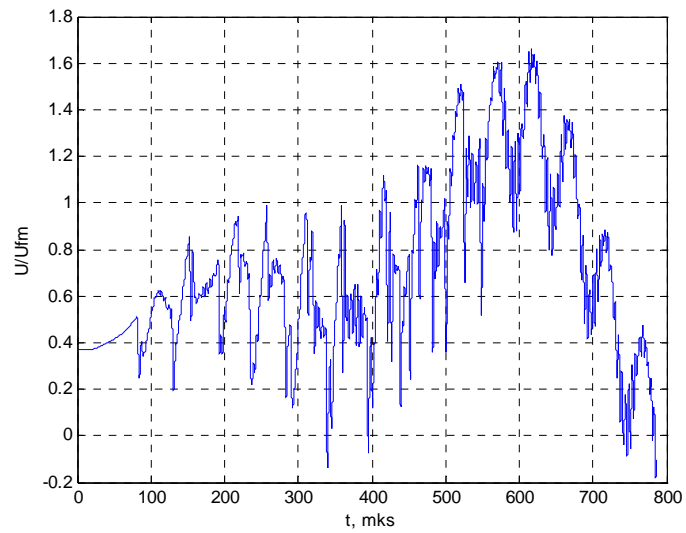
**Рис.4** К определению предельной СВЭП ВДК при отключении КПИ вакуумным выключателем со стороны ПНС-11 ( $dU/dt_{пр.эл.пр.} = 28$  кВ/мс,  $l_{КПИ} = 2,95$  км)



a)



б)



в)

Рис.5 К анализу процессов на ВДК (а), двигателе (б) и КПИ (в) при отключении ВВ электродвигателя на ПНС-11 (ОПН установлен в ячейке,  $I_{каб}=65$  м, СВЭП – 90 кВ/мс)



### ***Проектирование трассы прокладки КПИ.***

Отечественная практика проектирования КПИ показала, что из-за малого опыта проектировщики иногда не достаточно уделяют внимание особенностям прокладки кабелей нового поколения. Это обусловлено следующим обстоятельством. Наиболее распространёнными в настоящее время являются КПИ однофазного исполнения (ОИ), что предопределяет большие строительные длины, лёгкость монтажа и возможность выполнения кабелей с большими номинальными сечениями жилы. Однако однофазная конструкция КПИ накладывает определенные ограничения на способы их прокладки в отличие от кабелей традиционных трехфазных конструкций с бумажной пропитанной изоляцией. Например, в [2] оговариваются допустимые температурные условия эксплуатации кабеля при различных способах его прокладки, а в [3,4] подчеркиваются особенности прокладки КПИ в местах, требующих их механической защиты с помощью труб - при пересечении инженерных сооружений, автомобильных дорог, естественных препятствий и т.п. Невыполнение регламента прокладки КПИ в этих случаях может привести по крайней мере к двум негативным явлениям: к тепловому разрушению кабеля при его эксплуатации в номинальном режиме, либо локальному снижению электрической прочности СПЭ-изоляции на участке кабеля, заключенного в защитную трубу. Очевидно, что комбинированное воздействию электрического и нерасчетного теплового полей при наложении

ВЧ-перенапряжений (инициируемых вакуумными выключателями) может привести на "особых участках" к преждевременному развитию в КПИ электрически ослабленных мест.

В [5] на основе экспериментальных данных и мультифизического численного моделирования было показано: пофазная прокладка КПИ ОИ в стальных трубах недопустима из-за появления дополнительного источника тепла в виде вихревых токов в стальной трубе, что приводит к увеличению температуры в конструкции выше допустимой и выходу кабеля из строя; если это не требуется по условиям механической прочности, то следует по возможности избегать прокладки кабелей в трубах из ферромагнитных материалов, а применять неметаллические трубы (например, асбоцементные или пластмассовые)

### ***Интеллектуальная диагностика технического состояния КПИ.***

Учитывая отсутствие эффекта самозалечивания изоляционной конструкции КПИ для них очень актуально своевременное выявление электрически ослабленных мест. Диагностику технического состояния КПИ необходимо осуществлять по американскому принципу - "терапия вместо хирургии", т.е. по возможности работать на опережение и превентивно предупреждать каскадный выход из строя КПИ. После диагностического обследования и всестороннего анализа основных количественных характеристик диагностируемых параметров (напряжения зажигания частичных разрядов (ЧР), выделяемая ЧР энергия,  $\text{tg}\delta$  и т.д.) эксплуатационный персонал в основном интересуется следующей информацией: максимально достоверный прогноз остаточного ресурса кабеля; рекомендации по дальнейшим условиям эксплуатации кабеля; сроки проведения последующего диагностического обследования; какие в будущем должны быть параметры профилактических испытаний диагностируемого кабеля.

В настоящее время нет единой точки зрения на алгоритм и методику проведения как профилактических испытаний, так диагностического обследования для КЛ различного конструктивного исполнения. Для КПИ эта проблема еще более актуальна, поскольку твердый диэлектрик из СПЭ не обладает эффектом самозалечивания электрически ослабленных мест. Для КПИ каждый электрический пробой всегда приводит к возникновению аварийного режима эксплуатации и необходимости монтажа соединительной муфты. Поэтому для кабелей нового поколения особенно важно отслеживать динамику деградации СПЭ-изоляции и своевременно предупреждать их выход из строя. Сегодня у эксплуатационного персонала РКС появляется уникальная возможность осуществлять мониторинг "текущего здоровья" КПИ с самого начала его

ввода в эксплуатацию. Зарубежный и относительно небольшой отечественный опыт эксплуатации КПИ среднего напряжения показал, что снижение электрической прочности СПЭ-изоляции в значительной степени зависит не только от исходного качества кабелей (технология изготовления которых и, как следствие качество, может несколько отличаться для разных производителей), но и от конкретных условий эксплуатации КПИ (квалификации монтажного персонала; способа прокладки кабеля в специальных местах; амплитудно-временных параметров воздействующих перенапряжений; режима заземления нейтрали, параметров диагностических и профилактических испытаний). Таким образом, имея с одной стороны на основе постоянного мониторинга информацию о том, каким эксплуатационным воздействиям подвергается кабель с самого начала его эксплуатации, а с другой стороны на основе диагностического обследования информацию о фактическом состоянии его "здоровья" можно с достаточным основанием прогнозировать реальный остаточный ресурс кабеля.

Следует отметить, что определение остаточного ресурса КПИ, работающего в полевых условиях, задача достаточно сложная и не имеющая однозначного решения. Это связано с многообразием эксплуатационных факторов, воздействующих на КПИ, и определенными трудностями по выявлению наиболее информативных параметров, адекватно отражающих процессы деградации СПЭ-изоляции. Для выдачи максимально достоверного диагноза и выработки рекомендаций по дальнейшей эксплуатации кабеля необходимо иметь квалифицированного "Врача-Эксперта", который сможет дать заключение о фактическом состоянии "здоровья" КЛ на основе интегрированного анализа количественных критериев диагностируемых параметров с учетом конкретных условий и продолжительности эксплуатации кабеля. Очевидно, что только при таком *интеллектуальном подходе*, аккумулирующим все информационно-значимые факторы и возможно адекватно оценить технического состояние КПИ.

### **Выводы**

При поэтапном внедрении в РКС кабелей нового поколения в силу специфики СПЭ-изоляции нельзя чисто механически подходить к замене кабелей с бумажной пропитанной изоляцией на кабели с пластмассовой изоляцией. Повышение эксплуатационной надежности КПИ должно рассматриваться с позиций *системного подхода*, когда проектные организации и эксплуатационный персонал на стадии проектирования новых и реконструкции старых участков РКС должны учитывать все аспекты, определяющие эксплуатационную надежность КПИ. В частности необходимо обратить внимание на: оптимальный выбор режима заземления нейтрали; грамотный выбор вакуумных выключателей, с требуемыми параметрами ВДК; грамотное проектирование трассы прокладки КПИ; необходимость интеллектуальной диагностики технического состояния КПИ и выбор оптимальных параметров профилактических испытаний КПИ.

### **Литература**

1. Кадомская К.П., Качесов В.Е., Лавров Ю.А., Овсянников А.Г., Сахно В.В. Диагностика и мониторинг кабельных сетей среднего напряжения.- Электротехника.- 2000.-№11.- с. 48-51
2. Кабели силовые с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 10, 20, 35 кВ. Технические условия. ТУ 16.К71-335-2004. (ОАО ВНИИКП)
3. Инструкция по прокладке кабелей силовых с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 10, 20 и 35 кВ. РУКАВ/ID 23-2-019 (ABB Москабель)
4. Инструкция. Прокладка силовых кабелей на напряжение 10 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена. ИМ СК-20-03 (Камкабель)
5. Кадомская К.П., Лавров Ю.А., Кандаков С.А. К вопросу об условиях прокладки кабелей с пластмассовой изоляцией в электрических сетях среднего напряжения/ Новости электротехники.- 2006.- №6.