

# Использование контрольно-измерительных приборов на ВЛ для проверки тока утечки из-за загрязнений

Radu Munteanu  
Israel Electric, ISRAEL

## 1. введение

Перед израильскими электросетями стоит много специфических задач, отличных от большинства других предприятий коммунального обслуживания. Несмотря на расположение в субтропиках и в пустыне, часто связанные со многими развивающимися странами, от Израильских сетей ожидают высокую надежность электроснабжения, типичную для большинства промышленно развитого мира. В одно и то же время, работа в климатических условиях создающих многочисленные проблемы для работы изоляторов, услуги, находящиеся под жестким контролем эксплуатационных расходов, обусловленных высокой заработной платой, типичной для развитой страны.

Среди выводов из сопоставления этих очевидно противоречащих условий было стратегическое решение к исключительному использованию композитных изоляторов для всей новой воздушной сети. В результате этого решения, уже в 2003 процент линий, с композитными изоляторами из силиконовой резины был более 50 % для линий на 400 кВ и 25 % для линий на 161 кВ. Другой важный шаг, сделанный для решения упомянутых выше задач был в рационализации технического обслуживания керамических изоляторов, введением в использование системы контроля загрязнения, основанной на измерении токов утечки на фарфоровых изоляторах электрической сети. Презентация этого устройства - предмет настоящей статьи.

## 2. вероятность повреждения линии из-за загрязнения изолятора

Поскольку все изоляторы одной фазы линии соединены параллельно, перекрытие на одном

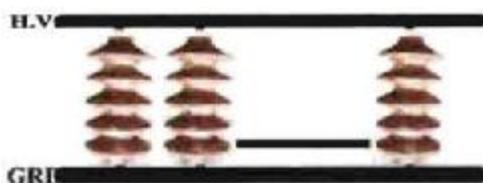


Рис. 1: соединение между изоляторами линии

изоляторе любой фазы означает повреждение для всей линии (кратковременное, в большинстве случаев). Помимо кратковременного отключения на линии, на которой установлен изолятор, такое повреждение цепи питания будет распространяться по электрической сети как кратковременное понижение напряжения, которое может воздействовать на чувствительные процессы в таких отраслях промышленности как производство стеклянных и пластмассовых изделий, полупроводниковое производство и т.д.

(1): Вероятность повреждения цепи питания из-за перекрытия одного из изоляторов линии - если все они имеют одинаковую вероятность перекрытия – определяется соотношением (1):

$$Q = 1 - (1 - q)^N \quad (1)$$

Где :

$q$  — вероятность перекрытия одного изолятора;

$N$  — число изоляторов на линии;

$Q$  – вероятность перекрытия на линии.

Пример: На линии длиной 80 км с 3 опорами на км имеется приблизительно 1 000 изоляторов. Соотношение между вероятностью перекрытия на единичном изоляторе и вероятностью отключения линии для нескольких случаев, рассчитано по указанной формуле и приведено в таблице 1:

**Таблица 1:** Соотношение между надежностью изоляторов и надежности целой линии

Вероятность перекрытия единичного изолятора	Вероятность отключения линии
1%	0.99996
0.1%	0.632
0.05%	0.3935

### 3. Техническое обслуживание изоляторов

#### 3.1. Метод обмыва

Самый общий эксплуатационный метод, используемый для снижения риска перекрытия - обмыв изоляторов. Обмыв проводят с наземного транспорта или с вертолета. Цель обмыва состоит в том, чтобы удалить загрязнение с изоляторов, используя высокое давление потока воды. Обычно, процедура обмыва требует, чтобы очистка была сделана с одного направления водной форсунки по отношению к изолятору. Если давление воды или расстояние между соплом и изолятором, или диаметр сопла не соответствуют необходимым, обмыв неэффективен, и существует опасность, смещения слоя загрязнения на противоположную сторону изолятора, создавая зону, где загрязнение намного более сконцентрировано чем это, был перед обмывом.. Для перекрытия изолятора достаточно единственной проводящей дорожки, и изолятор, очищенный на  $355^\circ$  и очень грязный на  $5^\circ$  может привести к большему числу перекрытий, чем необмытый (см. рис. 2).

Загрязненная дорожка

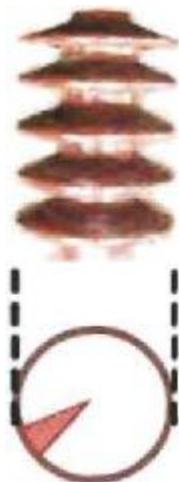


Рис. 2: значение распределения загрязнения по поверхности изолятора

### 3.2. Планирование технического обслуживания

Планирование технического обслуживания изоляторов осуществляется разработкой сроков проведения обмыва. Общие правила планирования технического обслуживания:

- Все изоляторы линии обмываются одинаково;
- Степень обмыва изоляторов определяется изоляторами на наиболее загрязняемом участке линии;
- При определении степени обмыва не учитывают отличия в профилях изоляторов, даже если эти отличия приводят к отличиям в свойствах изоляции при загрязнениях.

Основными недостатками этого метода являются:

- это очень дорого (потому что это избыточно);
- Это неэффективно, потому что слишком на многих опорах должны быть выполнены работы со слишком малым числом необходимого оборудования для обмыва (вертолеты и грузовики) и в очень коротком временном интервале;
- нет средств контроля качества обмыва.

### 3.3. Прогнозирующее техническое обслуживание (по состоянию)

Правило прогнозирующего технического обслуживания техническое обслуживание должно проводиться только **тогда, когда потребность в нем обнаружена**. Есть несколько причин для того, чтобы принять такой метод для технического обслуживания изоляторов:

- Часто, несмотря на большие затраты на периодический обмыв изоляторов, происходят перекрытия, и обычно бывает трудно выявить причину, или это неэффективный обмыв или внезапное и массивное отложение загрязнения;
- На степень загрязнения на изоляторах, больше всего влияют климатические факторы, которые заметно изменяются для разных регионов и профилей изоляторов, и могут также быть отличны для разных участков линии;
- вероятность перекрытия - которая является фактором более важным для технического обслуживания чем степень загрязнения - для разных типов изоляторов различна при одних и тех же условиях загрязнения.

Осуществление этого вида технического обслуживания подразумевает использование метода для оперативной контрольной проверки вероятности перекрытия, и этот же метод может использоваться в качестве инструмента для контроля качества обмыва. Этот инструмент контрольной проверки - Система Контроля Тока Утечки. Она была разработана для Израиля, и после экспериментальной проверки была введена в эксплуатацию в этом году.

## 4. Аппаратура СКТУ

4.1. Предварительные требования и их решения для непрерывного измерения тока утечки которые могут быть использованы для оценки риска перекрытия, составляют 3 условия:

- Достаточная влажность воздуха в течение многих суток года, чтобы обнаружить при измерении тока утечки на изоляторах наличие процесса загрязнения;
- Измерительная аппаратура достаточно надежна, чтобы обеспечить непрерывное и независимое функционирование при установке на опорах ЛЭП электрической сети;
- Аппаратура связи и программное обеспечение системы контроля поддерживают надежную связь всех измерительных приборов, с центральным блоком.

**4.1.1. Влажность воздуха.** В результате нескольких лет работы с Устройством СКТУ было обнаружено, что для того чтобы загрязнения стали проводящими, необходим минимальный уровень относительной влажности. Для большинства типов загрязнения этот минимальный уровень составляет 75 %. Если загрязнения легко растворимые или очень проводящие, для того чтобы сделать их проводящими требуется более низкие значения относительной влажности. Из рис. 3 видно, что ток утечки, измеренный в сельскохозяйственном районе, увеличивается существенно тогда, когда относительная влажность составляет не менее 75 %. При проверке в других регионах Израиля было выявлено, что большинству из них относительная влажность в ночное и вечернее время возрастает до 70-85 %. Это обнаруженное явление было определяющим для того, чтобы принять решение об использовании непрерывных измерений тока утечки в качестве индикатора уровня загрязнения и особенно, как индикатора риска перекрытия.

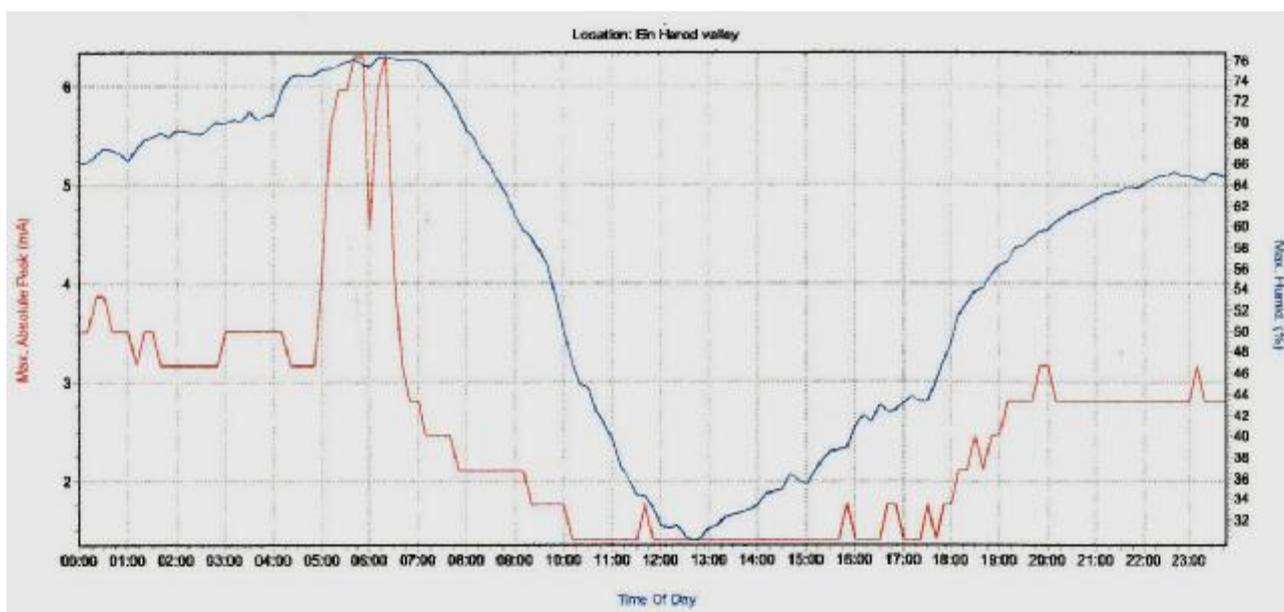


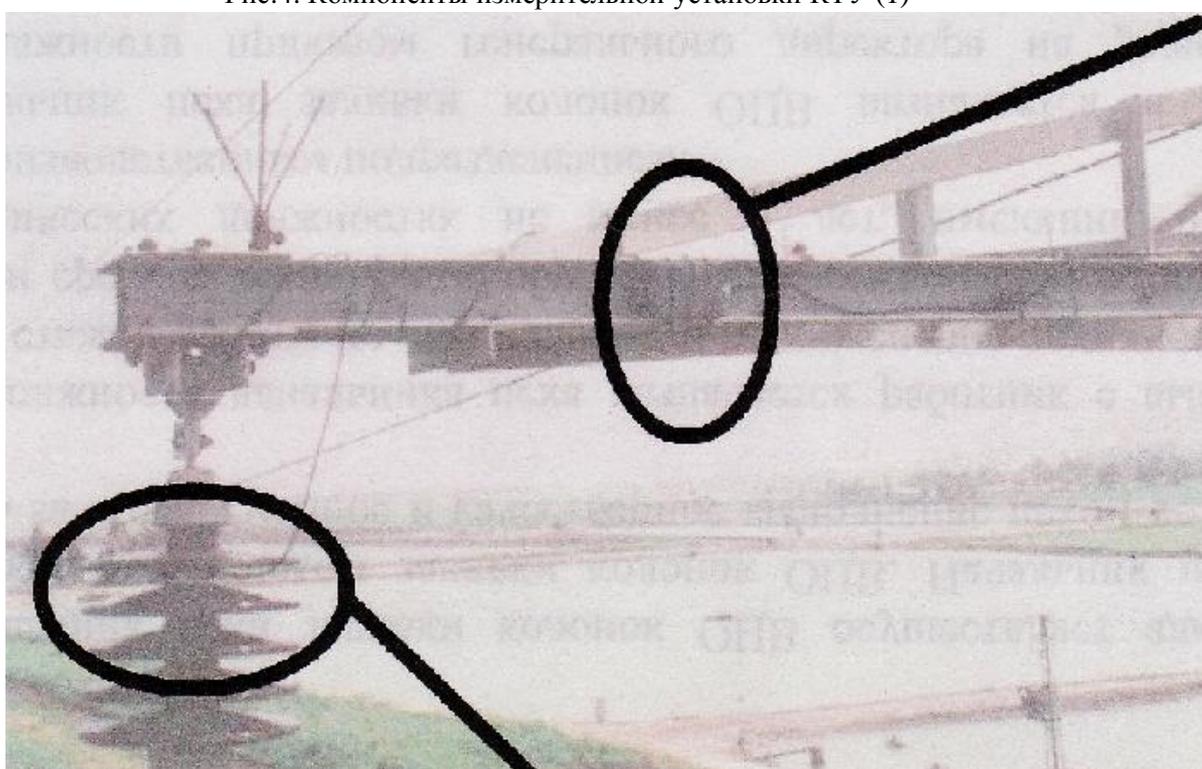
Рис. 3: Суточный график изменения относительной влажности и тока утечки, сентябрь 2005, Ein Harod (внутренний сельскохозяйственный район)

**4.1.2. Надежность аппаратуры СКТУ** Система КТУ, установленная в Израильских электрических сетях, состоит из 12 измерительных приборов (см. компоненты на рис. 4, 5). Большинство этих измерительных приборов установлено на опорах линий высокого и сверхвысокого напряжения и запитаны от аккумуляторов заряжаемых солнечными батареями. Аккумуляторы заменяют один раз в два года, а солнечные батареи должны быть очищены один раз в год. Данные от каждого измерительного прибора автоматически передаются модемами по сотовой сети один раз в день на центральный компьютер в виде файла объемом приблизительно 30 КБ. Наружная температура близка к максимальной рабочей температуре измерительных приборов (до 50°C) и чтобы справиться с этой проблемой, на каждом измерительном приборе был установлен вентилятор для охлаждения электронной схемы. Основными проблемами при обеспечении надежного функционирования были:

- Воровство батарей и солнечных батарей;
- Сокращение срока службы солнечных батарей и аккумуляторов из-за пыли.



Рис.4: Компоненты измерительной установки КТУ (1)



Зонд тока утечки

Датчик тока утечки

Рис.5: Компоненты измерительной установки КТУ (2)

## 5. Отчеты мониторинга загрязнения

Сбор информации о токах утечки и метеорологических параметрах в различных регионах Израильских электрических сетей развился за последние 4 года. На первой стадии измерения проводились главным образом для того, чтобы выявить корреляцию между токами утечки, относительной влажностью и вероятностью перекрытия в зависимости от сезона и географической зоны. В результате этой работы, были определены первые значения, представленные в Таблице 2.

**Table 2:** Сводка значений для определения риска перекрытия фарфоровой изоляции

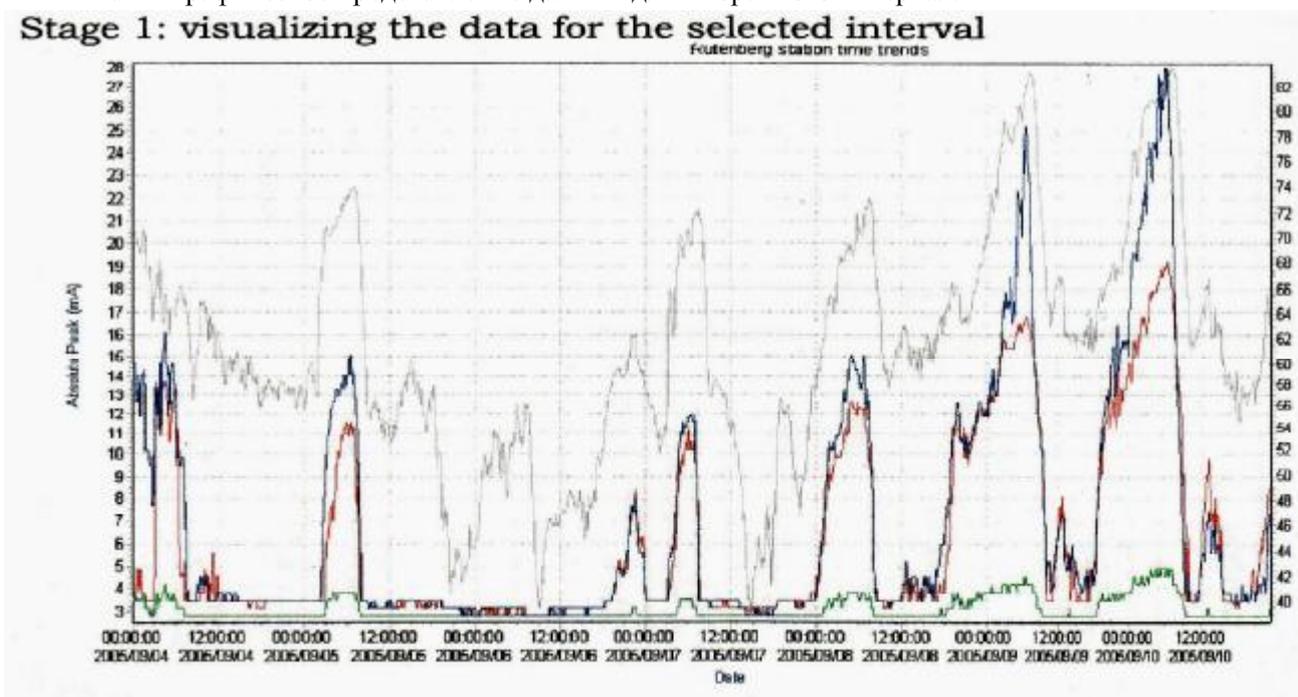
Уровень опасности	Риск перекрытия	Относительная влажность [%]	Ток утечки [мА]	Рекомендации по обмыву
Зеленый	маленький	50-70	< 25	Не требуется
Желтый	средний	<75	25 - 150	Обмыв, но не срочный
Оранжевый	высокий	Не имеет значения	150 - 300	Обмыв в течение недели
Красный	очень высокий	Не имеет значения	>300	Возможно, уже слишком поздно

Примечание: значения в этой таблице не охватывают все варианты, которые могут встречаться на практике. Классификация различных ситуаций должна быть сделана, с учетом дополнительной информации, разъясненной ниже.

Начиная с этого года, результаты мониторинга используются для подготовки еженедельных отчетов для региональных отделов технического обслуживания с информацией об оценке риска перекрытий, рекомендациями о необходимости обмыва изоляторов и указания зон, для которых эти отчеты являются репрезентативными. Итоговое представление стадии подготовки еженедельного отчета для одного из регионов - испытательной станции Rutenberg, - представлена ниже.

Испытательная станция Rutenberg, 4-10.09.05

Шаг 1: графическое представление данных для выбранного интервала



Шаг 2: подготовка проекта детализированного отчета за 7 суток

Дата	4.9.05	5.9.05	6.9.05	7.9.05	8.9.05	9.9.05	10.9.05
$I_{\max}$ [МА]	16	15	8	12	15	25	28
Относительная влажность [%]	65	73	63	72	69	83	83
Время	Всегда ночью, между 22:30 - 6:30						

Шаг 3: подготовка отчета за неделю

$I_{\max}$ [МА]	Относительная влажность при указанном $I_{\max}$ [%]	Представленный регион	Уровень опасности и рекомендации по обмыву
28	83	4-километровая полоса побережья, между станциями Rutenberg и Eshkol	<b>Потребность обмыва в обозримом будущем отсутствует</b>

Определение степени опасности и рекомендаций по обмыву для случаев не охваченных в обзоре приведенном в таблице 2 сделано с учетом совокупности факторов:

- Коррелированные значения  $I_{\max}$  и относительной влажности, зарегистрированные в интервале критических уровней загрязнения в месте нахождения контрольной станции;
- Тип загрязнения в контролируемом регионе;
- Профиль изоляторов, на которых были сделаны измерения;
- Типы других изоляторов, используемых в контролируемом регионе;
- Локальные климатические модели;
- Время, необходимое для ремонтных бригад, чтобы провести обмыв .

Факторы влияющие на поведение изоляторов - многочисленные и незначительные изменения только в одном или двух из них - иногда этого достаточно для того, чтобы перекрытие произошло. Время, необходимое для изменения вероятности перекрытия изоляторов зависит от локальных климатических условий и их конфигурации. Один практический пример для случая 3 контрольных станций, установленных вдоль 400кВ линия. На рис. 6 представлены максимальные значения относительной влажности, зарегистрированные каждой из этих станций в течение одного летнего месяца. Можно заметить, что самые высокие значения представлены фиолетовой линией, которая показывает результаты, зарегистрированные установкой Rutenberg. Поскольку это место близко к морю, здесь загрязнение, главным образом, соль, которая является очень проводящей и легкорастворимой. Эти соображения привели нас к тому, чтобы выбрать эту станцию, как наиболее чувствительную для этой линии и определяющую в некоторых условиях уровень опасности токов утечки, зарегистрированных здесь, и запуск сигнала на необходимость обмыва большей части линии.

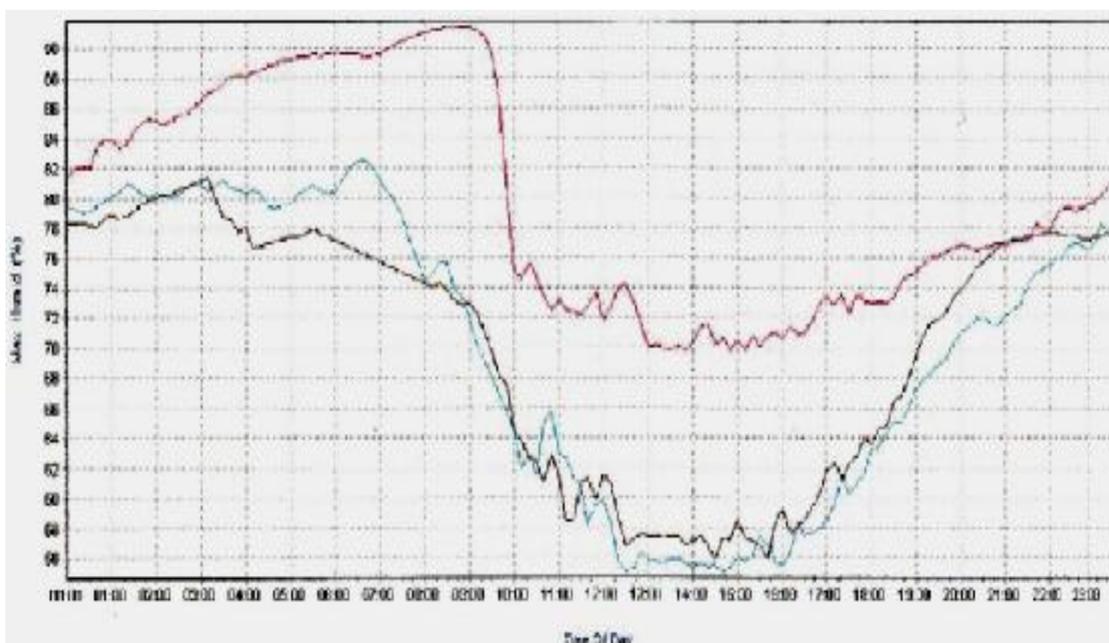


Рис. 6: ежедневные максимальные значения относительной влажности в течение одного месяца зарегистрированные 3-мя контрольными станциями, расположенными вдоль линии 400 кВ

## 6. Оценка экономического эффекта

Оценка экономического эффекта может быть сделана на основе следующих факторов:

- Стоимость контрольной аппаратуры и ее эксплуатации;
- Ежегодное достигнутое уменьшение числа зарегистрированных перекрытий;
- Ежегодное достигнутое уменьшение стоимости обмыва.

В системе КТУ используемой в Израильских сетях, каждая контрольная станция охватывает зону, в которой есть 40 до 150 опор двухцепных линий ВН и СВН. Число гирлянд изоляторов на этих опорах - от 320 до 1200. Оценивая типичные эксплуатационные расходы при использовании вертолетов, можно легко сделать вывод о том, что, экономя на одном обмыве ежегодно и, не увеличивая число перекрытий, стоимость системы КТУ возвращается не более, чем через два года.

## 7. Заключение

1. Задача предотвращения обмывом изоляции перекрытий на линиях, пересекающих районы с большой загрязненностью, трудновыполнима. Опыт Израильской энергосистемы показал, что использование изоляторов из кремнийорганической резины является более удачным решением, по крайней мере в условиях субтропиков и пустыни.
2. Успех использования приборов для контроля тока утечки для оперативного мониторинга риска перекрытия изоляторов зависит от существования периодических высоких уровней относительной влажности воздуха.
3. Система КТУ может использоваться также как инструмент для профилактического контроля эффективности обмыва изоляторов.
4. На основе информации получаемой от системы КТУ, а также информации о параметрах изоляторов и климатических условиях, может быть определена шкала риска перекрытия.
5. Предварительные расчеты показывают, что если использование Система КТУ позволяет сократить на единицу число обмывов в год в рассмотренной зоне, инвестиция в эту аппаратуру, будут возвращены менее чем через 2 года.