# Комплексная диагностика электросетевого оборудования как ключ к формированию плана ремонта «ненадежных» элементов ЛЭП.

В.Т. Чернев,

Группа компаний «ЭЛСИ», г. Новосибирск

Пик электросетевого строительства в сибирском регионе пришелся на 60-е - 70-е годы прошлого столетия. На протяжении последних 10-15 лет реконструкция электроэнергетики в требуемых объемах не проводилась, что привело к достаточно сложной ситуации: с одной стороны – огромное число объектов, требующих (исходя из нормативных сроков службы) ремонтных мероприятий; а с другой стороны - отсутствие необходимых финансирования, а также и технического потенциала у строительно-монтажных организаций, достаточного для выполнения реконструкции в таких объемах. По самым грубым оценкам на настоящий момент времени в России в эксплуатации находятся несколько десятков тысяч железобетонных стоек ПС и нескольких сотен тысяч опор ВЛ с железобетонными фундаментами или центрифугированными стойками со сроком службы около 40 лет. Понятно, что в условиях ограниченных финансовых возможностей, необходимо сконцентрировать внимание на ремонте оборудования, которое находится в предаварийном состоянии. Ключом к формированию плана ремонта оборудования является база данных оценок остаточных эксплуатационных ресурсов ЛЭП. На основе результатов диагностического обследования можно будет обоснованно отказаться от подхода «сквозной реконструкции» в пользу «адресновосстановительного ремонта» и «адресной замены» электросетевого оборудования и конструкций. Только такой подход позволит в рамках располагаемых финансовых и технологических ресурсов обеспечить экономически целесообразный уровень надежности электроснабжения потребителей.

Первым этапом подхода, реализующего «адресно-восстановительный ремонт» и «адресную замену» электросетевого оборудования и конструкций, является их диагностика. Целью диагностики является ранжирование оборудования и конструкций по их остаточным эксплуатационным характеристикам с разделением их на следующие группы.

Первая из них представляет собой группу продления ресурса, которая включает в себя объекты с нормальными остаточными эксплуатационными характеристиками, несмотря на окончание их нормативного срока службы.

Вторая группа, так называемого, «адресно-восстановительного ремонта», объединяет объекты, остаточные эксплуатационные характеристики которых могут быть восстановлены в результате выполнения текущего или капитального ремонтов.

И последняя группа «адресной замены» состоит из объектов, остаточные эксплуатационные характеристики которых ниже нормируемых значений и не могут быть восстановлены в результате выполнения ремонта (или это экономически нецелесообразно).

Для первых двух групп в обязательном порядке должны быть назначены сроки следующего обследования.

В последние годы широкое распространение получили различные методы диагностики электрических аппаратов, как наиболее дорогостоящих и ответственных элементов электрической сети. Также разработаны и внедряются в эксплуатационную практику методы диагностики электрической части воздушных линий (ВЛ) и подстанций (ПС) — проводов, контактных соединений и изоляции. На этом фоне следует отметить крайне слабое развитие методов «неразрушающего контроля» механической части ВЛ и ПС — опор и фундаментов. Единственным широко распространенным способом диагностики этих конструкций остаются внешние осмотры, регламентируемые правилами эксплуатации электроустановок. К сожалению, такие осмотры не могут рассматриваться как сколько-нибудь серьезный способ диагностики, так как наряду с видимыми дефектами конструкции могут иметь скрытые лефекты [1]

Пренебрежительное отношение диагностических служб к механической части ВЛ и ПС, очевидно, проистекает из внешней конструктивной простоты и незначительной стоимости данных конструкций. Однако, учитывая массовость этих элементов в составе любой электрической сети, вероятность возникновения аварий из-за повреждения механической части отдельных конструкций достаточна высока. На наш взгляд, проблеме диагностики механической части ВЛ и ПС, находящихся в длительной эксплуатации, следует уделять более серьезное внимание. Особенно важно это для Западной и Восточной Сибири, поскольку в этих регионах в осенне-весенний период имеется большое количество дней, когда в светлое время суток температура окружающей среды выше нуля, а ночью случаются заморозки, то есть возникает интенсивный процесс «замораживания-оттаивания» влаги. Естественно, что, в первую очередь, разрушениям подвергаются железобетонные конструкции — фундаменты, стойки под оборудование и опоры ВЛ. Статистика утверждает, что в некоторых районах Сибири за год таких неблагоприятных дней насчитывается от 65 до 80, а в отдельные годы даже превышает 100 дней.

Опыт показывает, что диагностике должны подвергаться все железобетонные конструкции со сроком эксплуатации более 20 лет. То обстоятельство, что на настоящий момент в эксплуатации находятся сотни тысяч опор ВЛ с железобетонными фундаментами или центрифугированными стойками со сроком службы около 40 лет, повышает актуальность задачи осуществления массового мониторинга эксплуатационного состояния железобетонных электросетевых конструкций с целью контроля уровня их надежности.

Следует отметить многопараметричность деструктивных процессов, снижающих несущую способность железобетонных фундаментов и стоек опор ВЛ в течение всего срока их эксплуатации: это и воздействия грунтово-климатических факторов внешней среды, и влияние вибраций от действия ветровых нагрузок, и другие специфические, в том числе электрофизические условия функционирования электрической сети.

В настоящее время достаточно хорошо проработаны следующие методы испытания бетонов на прочность:

- Метод стандартных образцов. Образцы кубической формы испытывают через 28 суток после изготовления, для чего они устанавливаются в пресс и нагружаются до разрушения образца. По величине максимальной нагрузки рассчитывается прочность бетона.
- Использование кернов, выбуренных из конструкции, которые испытываются подобно стандартным образцам под прессом. Бетон кернов полностью соответствует реальному материалу конструкции.
- Группа методов неразрушающего контроля (НК), основанных на измерении поверхностной твердости бетона.

Первый метод неприменим, поскольку он используется только для вновь изготовленного бетона. Использование второго метода проблематично, поскольку он ухудшает прочностные характеристики конструкций за счет выбуривания образцов из тела конструкции, а также из-за сложной технической осуществимости такой операции в полевых условиях.

Более приемлемыми являются методы неразрушающего контроля, такие как:

- 1. Метод пластической деформации, основанный на измерении размеров отпечатка, который остается на поверхности бетона после соударения с ней стального шарика (молоток Кашкарова).
- 2. Метод упругого отскока, заключающийся в измерении величины обратного отскока ударника от поверхности бетона (склерометр Шмидта).
- 3. Метод ударного импульса, регистрирующий энергию удара, возникающую в момент соударения бойка с поверхностью бетона (приборы: ИПС, ОНИКС).
- 4. Метод отрыва со скалыванием ребра конструкции, заключающийся в регистрации усилия, необходимого для скалывания участка бетона на ребре конструкции, либо местного разрушения бетона при вырывании из него анкерного устройства (прибор: **ПОС**).
- 5. Метод отрыва стальных дисков.
- 6. Ультразвуковой метод, измеряющий скорость прохождения ультразвуковых (УЗ) волн.

Первые пять методов позволяют определить прочностные характеристики лишь поверхностного слоя бетона железобетонной конструкции, притом в одной точке, и это является их существенным недостатком. Наиболее адекватным считается метод ультразвукового контроля, поскольку в отличие от других методов он позволяет измерить интегральные параметры прочности железобетонной конструкции. По технике проведения испытаний этот метод делится на сквозное «УЗ прозвучивание», когда датчики располагаются с разных сторон тестируемого образца, и поверхностное «прозвучивание», когда датчики расположены с одной стороны. Важно отметить, что метод сквозного «УЗ прозвучивания» позволяет, в отличие от всех остальных методов НК прочности, контролировать прочность не только в приповерхностных слоях бетона, но и прочность всего объема бетона конструкции.

| N₂ | Название прибора        | Погре      | Тип   | Доп. сведения  |
|----|-------------------------|------------|---|--|
|    |                         | ш<br>ность |   |  |
| 1  | ИПС-МГ4.01              | 10%        | Склерометр                                    | RS -232, оперативная память  |
|    |                         |            | (ударный)                                     | (ОП) на 500 измерений  |
| 2  | ИПС-МГ4.03              | 8%         | Склерометр                                    | RS -232, ОП на 999 участков /  |
|    |                         |            |   | 15000 результатов  |
| 3  | ОНИКС-2.51 / ОНИКС-2.52 | 8%         | Склерометр                                    | Контроль - по упругому отскоку и   |
|    |                         | E0./       | V   | ударному импульсу  |
| 4  | УК-1401                 | 5%         | Ультразвуковой контроль                       | Поверхностное прозвучивание  |
| 5  | ПУЛЬСАР-1.0/1.1         | 5%         | Ультразвуковой <a href="#">Ультразвуковой</a> | Сквозное и поверхностное   |
| 3  | 113 JIBCA1 -1.0/1.1     | 370        | контроль                                      | прозвучивание  |
| 6  | ПОС-30-МГ4 и ПОС-50-МГ4 | 10%        | Контроль изделий круг-                        | Отличаются друг от друга усилием   |
|    |                         |            | лого сечения путем                            | вырыва анкера – 30 кН и 50 кН  |
|    |                         |            | вырыва анкера                                 | соответственно   |
| 7  | ПОС-30-МГ4 «Скол» и     | 10%        | Контроль плоских<br>бетонных поверхностей     | Отличаются друг от друга усилием вырыва анкера – 30 и 50 кН  |
|    | ПОС-50-МГ4 «Скол»       |            | методами отрыва и                             | соответственно.  |
|    |                         |            | скалывания ребра                              | econdent to the control of the contr |
|    |                         |            | конструкции                                   |  |
| 8  | ПОС-2-МГ4               | 10%        | Контроль методом                              | ОП на 99 результатов   |
| 0  | 110C-2-W11 4            | 1070       | вырыва спирального                            | orr na 22 posymbratob  |
|    |                         |            | анкера  |  |
| 9  | ИЧСК-1.0                | 1%         | Акустический контроль                         | ОП на 200 результатов  |
| 10 | ВИСТ-2.4                | 5%         | Вибрационный контроль                         | ОП на 600 результатов  |
| 11 | ВИБРАН-2.0              | 5%         | Вибрационный контроль                         | ОП на 160 результатов  |
| 12 | СПЕКТР-1.0              | 5%         | Вибрационный контроль                         | ОП на 2000 результатов   |
| 13 | ИНК-2.4                 | 3%         | Вибрационный контроль                         | ОП на 1200 результатов   |
| 14 | ИНТРОСКОП 98.1          | 5%         | Вибрационный контроль                         | ОП на 580 результатов  |

Как видно из таблицы 1, современные приборы (УК1401, Пульсар, Бетон-32, УК-14П) позволяют измерять прочностные характеристики бетона с приемлемой точностью (5 - 10%) [2].

Основным преимуществом средств неразрушающего контроля, основанных на использовании ультразвуковых методов оценки прочности бетона, является существование устойчивой зависимости параметров распространения ультразвуковых колебаний в бетоне от состояния его структуры, наличия и накопления в нём тех или иных дефектов и повреждений. Возникновение в структуре бетона любых дефектов, уменьшающих его прочность, соответствующим образом изменяет скорость и время распространения ультразвука в бетоне [3,4]. Анализ обширного статистического материала, накопленного в ходе лабораторных и полевых обследований, позволил выявить закономерности между ультразвуковыми и прочностными характеристиками, что в дальнейшем используется для получения комплексных оценок технического состояния конструкций, а, самое главное, — для заключения об их работоспособности на достаточно продолжительном интервале времени.

Сравнивая методы «УЗ контроля» с такими традиционными методами контроля (ТМК) технического состояния железобетонных электросетевых конструкций, как молоток

Кашкарова, склерометр Физделя, микроскоп Бринеля или лупа Польди, следует отметить их главный недостаток: ТМК не обеспечивают выявление дефектов в бетоне на ранней стадии их появления и не позволяют получить количественные оценки развития этих дефектов во времени из-за большой погрешности получаемого результата. Относительная простота и дешевизна этих приборов и приспособлений ТМК, являющиеся их единственным преимуществом, объясняют причину их использования. ТМК могут применяться в единственном случае - для инструментального подтверждения результатов визуального наблюдения стойки опоры или фундамента, кажущихся вполне исправными и имеющими однородную поверхность. Однако, в случае аномалии, распространяющейся вглубь, конструкцию необходимо откапывать, чтобы обследовать её более детально. Поскольку зачастую наблюдается осыпание или растрескивание бетонной поверхности обследуемой конструкции, при этом возникает необходимость получения достаточно большого количества измерений на всей дефектной поверхности конструкции. Достоверными считаются измерения, отличающиеся друг от друга не более, чем на 2%.

Сопоставление результатов измерения прочности бетона, полученных на реальных железобетонных конструкциях разной дефектности с помощью ультразвуковых тестеров и молотка Кашкарова, показывает, что их сходимость наблюдается только для конструкций, не имеющих существенных видимых разрушений. Например, при оценке прочности бетона конструкции, имеющей трещину, традиционный метод может дать приемлемую оценку прочности, тогда как при использовании ультразвукового прибора измерение укажет на наличие дефекта.

Прочностные характеристики бетона являются очень важными, но не единственными параметрами, описывающими надежность и работоспособность железобетонной конструкции. Появление по тем или иным причинам трещин в бетоне может вызывать коррозию арматуры и ослабление несущей способности конструкции изнутри. Оценка коррозионного состояния арматуры проводится электрохимическими методами путем ее поляризации от внешнего источника тока [5]. Сопротивления анодной и катодной поляризации арматуры в неповрежденном и поврежденном бетоне имеют существенные различия, которые и несут информацию о коррозионном состоянии арматуры.

А вот обобщенную оценку состояния всей железобетонной конструкции целиком (фундамента или стойки опоры) можно получить, используя только вибрационные методы диагностики. Диагностическая оценка этим методом основана на анализе декрементов затухания механических колебаний низкой и высокой частоты, искусственно возбуждаемых в железобетонной конструкции. Между этими параметрами и состоянием бетона, арматуры и их сцеплением между собой существует определенная зависимость [6]. С появлением трещин на бетоне или коррозии арматуры их взаимодействие нарушается, это приводит к снижению несущей способности конструкции, которая может быть четко зафиксирована с помощью соответствующего прибора. В настоящее время хорошо зарекомендовал себя прибор «Интроскоп 98.1».

Суммируя всё вышесказанное, следует отметить, что ультразвуковой контроль позволяет получить прочностную оценку бетона, а с помощью вибрационного контроля может быть получена комплексная оценка технического состояния железобетонной конструкции в целом. В таблице 1 приведены временные затраты на предлагаемое комплексное обследование и традиционное обследование, проводимое с помощью молотка Кашкарова или склерометра. Для железобетонных конструкций, не имеющих видимых дефектов, оба эти типа обследования имеют примерно одинаковые результаты и затраты. В случае, когда имеется скрытый дефект, традиционный способ его может и не определить, даже в случае откопки конструкции из земли на глубину 0,7 или 1,5 метра. Несмотря на то, что комплексная диагностика является более детальной, при работе с конструкцией, находящейся в нормальном состоянии, она имеет сравнительно небольшие временные затраты (~ 7минут). При диагностировании дефектной или даже аварийной конструкции временные затраты увеличиваются в два раза за счет повышенного объема виброконтроля (~14 минут). Традиционный способ при обследовании

конструкции в нормальном состоянии с помощью склерометра позволяет уложиться в одну минуту. Однако, в случае обследования дефектного фундамента или стойки опоры требуется их откопка (в зависимости от вида дефекта на глубину от 0,5 до 1,5 метров), что увеличивает временные затраты в три - пять раз (по сравнению с комплексной диагностикой).

Таблица 1. Временные затраты на проведение традиционных и комплексных обследований железобетонных конструкций.

| Tpa         | диционное с             | обследование    |           | Комплексное обследование |             |            |        |
|-------------|-------------------------|-----------------|-----------|--------------------------|-------------|------------|--------|
| Дефектность | Глубина                 | Измерение       | Итого     | Дефектность              | Ультразвук- | Вибро-     | Итого  |
| конструкции | нструкции откопки/время | склерометром    |           | конструкции              | контроль    | контроль   |        |
| Норм        | нет                     | 30 сек          | 30 сек    | Норм                     | 8*30 сек    | 5*30 сек   | 6,5мин |
| Дефектная   | 0,7м/25мин              | 28*30сек(14мин) | 39 мин    | Дефектная                | 8*30 сек    | 4*5*30 сек | 14 мин |
| Аварийная   | 1,5м/50мин              | 56*30сек(28мин) | 1час18мин | Аварийная                | 8*30 сек    | 4*5*30 сек | 14 мин |

образом, наиболее эффективным средством контроля технического и Таким коррозионного состояния железобетонных конструкций ПС и ВЛ 110-500 кВ является предлагаемый комплекс испытаний, использующий ультразвуковые и вибрационные методы свойств железобетонных оценки механических стоек И фундаментов, электрохимический определения коррозионного состояния метод арматуры ВЛ. Результатом обследования металлоконструкций является оценка остаточного эксплуатационного ресурса железобетонных электросетевых конструкций, элементов и конструкций, требующих срочной замены или ремонта. Эти результаты могут быть использованы при формировании обоснованных планов проведения ремонтов и реконструкции механической части электросетевых объектов. Важно понять, что научнообоснованный выбор необходимого и достаточного объема ремонтных мероприятий возможен только на основе мониторинга эксплуатационного состояния (ЭС) основных элементов линий Однако, использование процедуры мониторинга требует формирования электропередач. обширной базы данных, полученной по результатам многолетнего детального обследования всех конструктивных элементов линий электропередачи. На наш взгляд, в БД должна быть представлена следующая информация: цифровые «видеоснимки» дефектов, ультразвуковые характеристики бетона в надземной и подземной частях, вибрационные характеристики (декремент затухания собственной частоты фундаментов), оценки коррозионного состояния арматуры, структурно-влажностные и электрофизические характеристики грунта, прочностные свойства ремонтных составов, геометрические размеры ремонтного слоя, высоты оголовников над землей, глубины подземной зоны разрушения фундаментов и т.д.

С 2004 г. группой компаний ЭЛСИ выполняется комплексное обследование электросетевых конструкций. За 2 года выполнены обследования в Новосибирской и Иркутской энергосистемах. В «Новосибирскэнерго» обследовались центрифугированные железобетонные стойки опор 110 кВ, а в «Иркутскэнерго» – фундаменты ВЛ 500 кВ.

#### Обследование фундаментов ВЛ 500 кВ.

В «Иркутскэнерго» выполнялось сквозное обследование фундаментов на ВЛ со сроком эксплуатации 43 года, всего обследовано 402 фундамента. По результатам проведенных обследований можно сделать следующие выводы:

1. Все обследованные фундаменты по техническому состоянию делятся на три типа - нормальные, дефектные и ремонтированные. Несмотря на значительный срок службы, у некоторой части обследованных фундаментов наблюдается удовлетворительное техническое состояние, как в надземной, так и в подземной части. Более 40 % из обследованных фундаментов с приблизительно одинаковой продолжительностью эксплуатации претерпели процедуру ремонта. Разрушение ремонтного слоя носит в основном характер растрескивания

или осыпания. Фотографии 1, 2 и 3 дают приблизительное представление о внешнем виде фундаментов каждого типа.

- 2. Зона активного разрушения фундаментов располагается в верхней части оголовника и распространяется на глубину 10-30 см ниже уровня земли, а в случае ремонтированного фундамента на 10-20 см ниже ремонтного слоя. В подземной части фундамента карбонизация исходного бетона достигает всего лишь 1-2 мм, тогда как в верхней части она увеличивается уже до 20-30 мм. Это вызывает осыпание наполнителя в надземной зоне и нарушает защитные свойства бетона по отношению к арматуре.
- 3. Все фундаменты имеют достаточный ресурс по арматуре для продолжения работы, но некоторые из них требуют повторного ремонта бетона.

Поскольку главной целью обследования служило выявление фундаментов, требующих замены или ремонта, приводим распределение фундаментов по этим градациям:

- в группе продления ресурса фундаментов- 38 %;
- группа «адресно-восстановительного ремонта» содержит 62 %, из них дефектных фундаментов, требующих срочного ремонта в течение 2006 года 19 %, фундаментов, ремонт которых может быть выполнен в последующие годы 43 %;
- аварийных фундаментов обнаружено не было, поэтому в группе «адресной замены» фундаментов 0 %.

Интересным обстоятельством является тот факт, что около 40 % всех фундаментов уже подвергались ремонту. Ремонт выполнялся «омоноличиванием» верхней части фундамента бетоном на глубину от 200 до 600 мм от верха фундамента, при этом подавляющая часть фундаментов отремонтирована на глубину 200 мм. В результате исследования деградации бетона фундаментов была уточнена оптимальная глубина ремонта фундаментов, которая составила 500-700 мм от поверхности грунта. Таким образом, ремонт на глубину 200 мм не имеет смысла и является, по сути, непроизводительным расходованием выделенных ремонтных ресурсов, так как три четверти от числа фундаментов, ранее подвергавшиеся ремонту, вновь отнесены к дефектным. Этот факт говорит о необходимости поиска новых ремонтных составов и технологий, обеспечивающих необходимую прочность, требуемую морозостойкость, меньшее водопоглощение и более надежную адгезию со старым бетоном.

### Обследование железобетонных центрифугированных стоек опор ВЛ 110 кВ.

В ОАО «Новосибирскэнерго» в 2005 году было выполнено выборочное обследование центрифугированных стоек опор ВЛ 110 кВ, отобранных персоналом сетей в результате осмотров, т.е. к обследованию были предъявлены стойки, визуально находящиеся в наихудшем состоянии. По результатам обследований распределение стоек по группам выглядит следующим образом:

- группа продления ресурса содержит 84 % стоек;
- группа «адресно-восстановительного ремонта» составляет 8 %;
- группа «адресной замены» 8 %.

Следует отметить, что подавляющая часть предъявленных для обследования стоек опор ВЛ 110 кВ имеет достаточный ресурс по прочности бетона и арматуре, что обуславливается отличной от изготовления фундаментов технологией изготовления - центрифугированный бетон имеет большую плотность, а, соответственно, повышенную морозостойкость и большую стойкость к процессам карбонизации.

На фото 4 и 5 представлены характерные дефекты центрифугированных стоек.

Проведенные нами обследования еще раз показали, что по сравнению с диагностикой железобетонных конструкций опор, выполняемой традиционными методами, ультразвуковые и вибрационные методы обладают значительно большей чувствительностью.

Анализ результатов, полученных при визуальном и инструментальном обследованиях, позволяет сделать выводы по характеру и причинам происхождения дефектов: они зачастую вызваны различными сочетаниями заводских, монтажных и эксплуатационных недочетов.

Для центрифугированных железобетонных стоек СЦ или СК такими причинами являются:

- неплотно прижатые края опалубки при изготовлении центрифугированных стоек, следствием является быстрое разрушение швов полуформ в эксплуатации. Этот дефект зачастую приводит к образованию больших сквозных дыр, оголению арматуры и образованию значительных трещин вдоль швов полуформ (фото 4);
  - повреждения, сколы, полученные при транспортировке и установке опор;
  - применение крупного наполнителя, что приводит к осыпанию бетона;
- влияние на стойки опор грунтово-климатических факторов (образование на стойке опоры мелких и крупных трещин). Эти дефекты за длительный срок эксплуатации так же способствовали снижению несущей способности конструкций, что подтверждается данными вибродиагностики.

Для железобетонных фундаментов металлических опор причинами дефектов являются:

- использование бетона с низким показателями по прочности и морозостойкости;
- незащищенность «оголовника» фундамента от действия процессов «замораживания оттаивания» влаги;
- недолговечность и неэффективность применяемой гидроизоляции.

Статистика, полученная в результате и традиционных осмотров ВЛ и специальных обследований железобетонных конструкций ВЛ-500 кВ, показывает, что применяющаяся в настоящее время в энергосистемах технология ремонта фундаментов не может быть признана удовлетворительной. Трещины и разрушения имеются более, чем в 90 % ремонтированных фундаментов. Высота ремонтной опалубки в подавляющем большинстве случаев равна всего 20 см, значительно реже встречается опалубка с высотой 40 см (15%) и еще реже - 60 см (5%).



Фото 1. Нормальный фундамент.

Отсюда следует очевидный вывод: **Традиционный способ ремонта фундаментов является «поверхностным», зачастую лишь «косметическим». Ремонтный слой не обеспечивает достаточной защиты фундамента от атмосферных и грунтовых воздействий и не восстанавливает прочность бетона в месте обнаруженного дефекта.** Даже если ремонтный состав на фундаментах некоторых опор по прочности не уступает исходному бетону, ремонт в лучшем случае может продлить срок службы фундамента на 2-3 года. Осмотры показывают, что средняя продолжительность «жизни» ремонтного короба равна максимум 3 - 5 годам. Это объясняется тем, что в полевых условиях бетон изготавливается вручную, без «бетоносмесителей», укладка бетона выполняется без виброуплотнения, не соблюдаются условия затвердевания смеси, требуемые по технологии, а самое главное — не обеспечивается необходимое качество подготовки поверхности ремонтируемого фундамента.





Фото 2. Дефектный фундамент ВЛ-500 кВ. Фото 3. Ремонтированный фундамент ВЛ-500 кВ.

Дополнительные причины, делающие ремонт фундаментов традиционным способом не долговечным и, следовательно, не эффективным, таковы:

- не обеспечивается адгезия нового бетона к поверхности фундамента из-за карбонизации бетона, цементной пленки и неудовлетворительного качества подготовки поверхности ремонтируемого фундамента (зачастую подготовка отсутствует совсем).
- теле ремонтной конструкции спуска заземлителя, который является - наличие «воротами» для проникновения воды, разрушающей ремонтную смесь в процессе замораживания-оттаивания. Осмотры и наблюдения подтверждают, что чаще всего трещины встречаются именно в месте вхождения заземлителя в бетон (наблюдается в 50 – 60 % случаев);
- использование при изготовлении ремонтной смеси необработанного (непромытого) галечника.

Проблема восстановления работоспособности железобетонных конструкций уже давно привлекала внимание специалистов. В исследованиях, проводимых в СибНИИЭ с начала 80 годов, а затем продолженных в ЭЛСИ, ставилась задача нахождения оптимальных характеристик ремонтного саркофага (РС), при этом варьировались: состав ремонтной смеси, геометрические размеры РС, конфигурация арматуры, комплексная прочность ремонтной конструкции, морозостойкость, воздухововлечение, механическая устойчивость к вибрационным нагрузкам, долговечность конструкции и т.д. Многочисленные эксперименты позволили определить оптимальные параметры ремонтного саркофага, варьирующиеся от состава ремонтной смеси, ее стоимости и предъявляемых к конструкции требований [8,9].

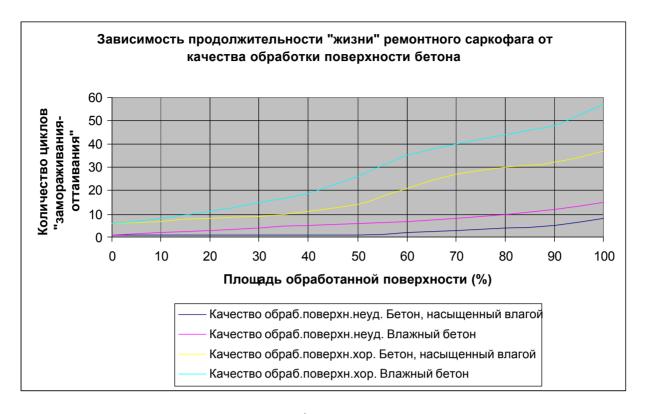
Зависимость «продолжительности жизни» ремонтного саркофага, условно измеряемая количеством циклов «замораживания-оттаивания» (ЦЗО), показана на Рис.1.



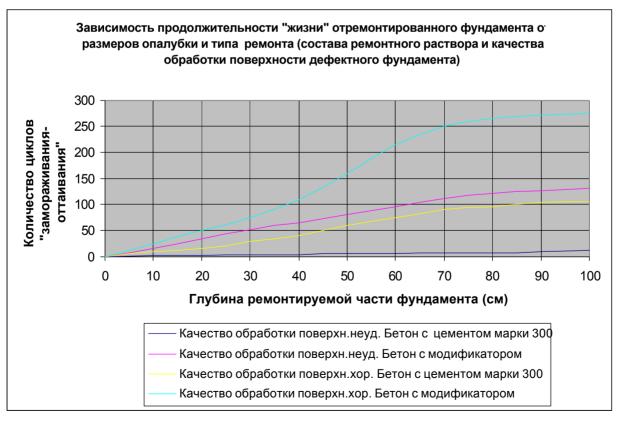
Фото 4. Дефектная стойка опоры ВЛ 110 кВ.



Фото 5. Трещина на стойке опоры ВЛ 110 кВ.



**a**)



ნ)

Рис. 1. Зависимость продолжительности «жизни» ремонтного саркофага от:

- а) качества обработки поверхности бетона дефектного фундамента;
- б) стоимости ремонтной смеси.

Как видно из Рис.1.а «продолжительность жизни», то есть количество ЦЗО значительно изменяется от следующих факторов: от влажности бетона, качества обработки поверхности и от площади этой обработанной поверхности (в % от фактически ремонтируемой поверхности фундамента). Еще сильнее отличаются характеристики долговечности ремонтной конструкции в зависимости от затрат на ремонт фундамента (Рис.1.б), в которые входят стоимости ремонтной смеси, адгезионной обмазки, водоотталкивающего покрытия (вариант 1 для ремонтной смеси с цементом марки 300, вариант 2 для ремонтной смеси с использованием модификатора бетона).

Резюмируя все вышесказанное, необходимо выделить направления исследований, которые представляются наиболее целесообразными и эффективными:

- 1. Инструментальный контроль и диагностика состояния фундамента с целью определения реальных объемов разрушения бетона фундамента, наиболее рациональной формы и размеров ремонтной опалубки.
- 2. Выбор наиболее адекватного ремонтного состава в зависимости от свойств и характеристик грунта, атмосферных условий и предъявляемых требований к прочности ремонтной конструкции.
- 3. Разработка наиболее технологичных способов подготовки поверхности, обеспечивающих в полевых условиях требуемый уровень адгезии ремонтного состава с очищенной поверхностью железобетонного фундамента, а также способов приготовления ремонтного состава и плотного заполнения ремонтного саркофага с необходимым уровнем воздухововлечения.

Основные принципы предлагаемой технологии ремонта железобетонных фундаментов опор ВЛ, выполняемого специализированными организациями.

### 1. Определение размеров ремонтного саркофага и опалубки.

Вначале производится инструментальная оценка фактических **размеров** (объемов) **разрушений** с целью оптимизации **глубины** и площади сечения ремонтной опалубки. С учетом погрешностей высота ремонтной опалубки должна превышать глубину разрушения фундамента не менее, чем на 7%, толщина стенки «саркофага» не должна быть меньше 3 см.

#### 2. Подготовка поверхности фундамента и обнажившейся арматуры.

Необходимо особо отметить, что **наиболее критичным** и жестким является требование к **качеству подготовки поверхности** ремонтируемого фундамента. Поэтому нужно очень внимательно относиться ко всем подготовительным и основным операциям этого этапа. Целесообразно введение новой дополнительной технологической операции — **контроль качества подготовки поверхности**.

Одна из **важнейших** операций, с которой начинается ремонт, – подготовка поверхности ремонтируемого бетона. Поверхность должна быть прочной, обеспыленной, не иметь масляных пятен и остатков гидроизоляции, с тщательно очищенной поверхностью старого бетона (особенно в месте его соединения с новым бетоном) от цементной пленки, пыли, строительного мусора и других включений. Наиболее простым способом очистки бетонных поверхностей стоек опор является пескоструйная обработка, еще лучше, если используется чугунная дробь. Однако требуется очень большая производительность компрессора (8атм\*40 л/сек), обеспечить которую в полевых условиях затруднительно. Более эффективным при очистке небольших площадей представляется способ обработки поверхности бетона 20 - 25%ным раствором соляной кислоты. Масло и другие жировые вещества, препятствующие

склеиванию, удаляют 10%-ным раствором каустической соды или более сильными растворителями (метасиликат или трифосфат натрия). Поверхность смачивают водой или слегка щелочным раствором и только после этого обрабатывают раствором соляной кислоты для разрушения карбонизированного слоя бетона (Фото 7).

Далее поверхность фундамента промывают водяной струей под большим давлением (Фото 8) и обрабатывают металлическими щетками для удаления образовавшихся солей и слабых частей бетона. Для очистки поверхности бетона в полевых условиях целесообразно использовать электрические или пневматические инструменты.



Фото 6. Механическая очистка поверхности

фундамента от цементной пленки и карбони-

зированного слоя бетона.



Фото 7. Обработка карбонизированного слоя бетона соляной кислотой.



Фото 8. Очистка поверхности бетона струей воды под давлением 8 атмосфер.



Фото 9. Повторная механическая зачистка бетонной поверхности.

# 3. Приготовление ремонтного состава (пластифицированного бетона и спецбетона).

### 3.1. Приготовление пластифицированного бетона

Приготовление качественного ремонтного состава пластифицированного бетона с требуемым воздухововлечением возможно только с помощью «бетоносмесителя». Для этого предлагается использовать безусадочную быстротвердеющую бетонную смесь наливного типа «эмако фаст колайбл». В случае, если встречаются щели между бетоном и арматурой, то

такие мелкие щели и пустоты заполняются жидкой фракцией, то есть раствором пластифицированного бетона с жидкой консистенцией.

- Состав пластифицированного клея для заполнения трещин (мас.ч.)
- ремонтная смесь «эмако фаст колайбл» 100;
- кварцевый песок 35;
- поливинилацетатный клей ПВА
   5;
- вола 16.

Все остальное пространство между опалубкой и фундаментом должно заполняется полимерным раствором.

- Состав ремонтного раствора для заполнения формы (мас.ч.):
- ремонтная смесь «эмако фаст колайбл» 100;
  - кварцевый песок 25;
- щебень 25;
- вода 12.

## 3.2. Приготовление спецбетона.

Приготовление качественного ремонтного состава спецбетона возможно также только с помощью «бетоносмесителя».

### Состав жидкого раствора для заполнения трещин

- пластифицированный цемент «макфлоу» 100;
- песок 200;
- поливинилацетатный клей ПВА
   вола
   32.

Все остальное пространство между опалубкой и фундаментом должно заполняется ремонтным бетонным раствором.

# Состав бетона для заполнения формы

- пластифицированный цемент «макфлоу»
  щебень
  песок
  вода
  100;
  270;
  180;
  42.
- 4. Применение адгезионной обмазки.
- 4.1 пластифицированный бетон.

# Состав адгезионной обмазки (мас.ч.):

- цемент «эмако» S55 100; - вода — - 22;
- клей ПВА 15.

(в пересчете на сухой остаток).

4.2 спецбетон.

#### Состав адгезионной обмазки (мас.ч.):

- пластифицированный цемент «макфлоу» 100;
- вода 13;
- клей ПВА 19.



Фото 10. Покрытие поверхности адгезионной обмазкой.



Фото 11. В опалубку заложен второй слой бетонной смеси.

## 5. Послойная укладка смеси.

Наиболее прочная конструкция получается при послойной укладке смеси с обязательным использованием виброуплотнения (Фото 9). Применение послойной укладки полимер-бетона в дефектные места и уплотнение вполне возможно, так как полимер-бетон застывает без нагревания 12 – 24 часа (с нагреванием - 5 часов), но при этом должна сохраняться форма до конца затвердевания. Спецбетон, приготовленный по приведенному рецепту, набирает прочность, достаточную для снятия опалубки через 6 - 8 часов. Однако в необходимых случаях может быть изготовлен бетон с использованием специального цемента из семейства «эмако фаст-колайбл», который набирает прочность, вполне достаточную для снятия опалубки уже через 20 – 30 минут после укладки последнего слоя.

Использование каждого из этих ремонтных составов определяется обстоятельствами, при которых производится ремонт: степень разрушения фундамента, погодные условия (влажность и температура), удаленность от ремонтной базы, количество опалубок и т.д.

### 6. Выдерживание условий затвердевания.

Важнейшим фактором, позволяющим достичь максимальной прочности ремонтной смеси – это выдерживание условий затвердевания: температура, влажность, время закрепления опалубки, достаточное увлажнение подготовленной поверхности перед укладкой (особенно в жаркую и сухую погоду).

Высокое качество ремонта дефектов фундаментов опор характеризуется величиной сцепления старого и нового бетонов, которое повышают с помощью адгезионных обмазок (полимерцементных растворов на основе поливинилацетатного клея ПВА).

### 7. Контрольное измерение прочности фундамента после ремонта.

Применение модификаторов бетона и полимерных составов дает возможность полностью восстанавливать прочность железобетонного фундамента, имевшего значительное растрескивание и осыпание защитного слоя, что можно проконтролировать ультразвуковыми и вибрационными методами. При этом обеспечивается быстрый и экономичный ввод отремонтированной конструкции в эксплуатацию по сравнению с ее заменой. Отвердение ремонтного состава происходит за 1 - 2 суток при нормальной температуре и за 2-3 часа при нагреве. Таким образом, высокое качество ремонта может быть обеспечено только с помощью использования предлагаемой технологии, новейших материалов, специальной оснастки и аппаратуры, энергозатраты при ремонте одного фундамента с глубиной разрушения 0,7 м достигают 15 кВт\*часов.

- 1. Традиционные методы оценки технического состояния железобетонных электросетевых конструкций не обеспечивают выявление дефектов в бетоне на ранней стадии их возникновения и не позволяют получить количественные оценки развития этих дефектов во времени из-за большой погрешности получаемого результата.
- 2. Наиболее исчерпывающую информацию об остаточном эксплуатационном ресурсе железобетонных и металлических стоек опор и фундаментов воздушных линий электропередачи дают количественные оценки, полученные с помощью ультразвуковой, вибро- и электрохимической диагностики состояния.
- 3. Все обследованные фундаменты по техническому состоянию делятся на три типа нормальные, дефектные и ремонтированные.
- 4. Зона активного разрушения фундаментов располагается в верхней части оголовника и распространяется на глубину от 30 до 50 см от поверхности земли. В подземной части фундамента карбонизация исходного бетона достигает всего лишь 1 2 мм, в верхней части она увеличивается уже до 20 30 мм, поэтому оптимальная глубина опалубки 0.7 0.9 м.
- 5. Все фундаменты имеют достаточный ресурс по арматуре для продолжения работы, следовательно, в результате качественного ремонта может быть восстановлена требуемая прочность железобетонной конструкции.
- 6. Традиционные осмотры ВЛ и специальные обследования железобетонных конструкций ВЛ 35-500 кВ, показывают, что применяющаяся в настоящее время в энергосистемах технология ремонта фундаментов не может быть признана удовлетворительной, так как разрушения имеются в более, чем 90 % ремонтированных фундаментах после 3-4 летнего срока эксплуатации.
- 7. Необходимо вменить в практику планирования ремонта электросетевого оборудования вместо «тотальной реконструкции» локальный «адресно-восстановительный ремонт» и «адресную замену» дефектных элементов и конструкций. Этот подход позволит в рамках ограниченных финансовых и технологических ресурсов обеспечить экономически целесообразный уровень надежности электроснабжения потребителей.
- 8. Научно-обоснованный выбор требуемого объема ремонта возможен только на основе мониторинга эксплуатационного состояния (ЭС) основных элементов линий электропередач. Процедура мониторинга предполагает формирование базы данных, содержащей следующую информацию: «видеопортреты» дефектов, ультразвуковые и вибрационные характеристики бетона в надземной и подземной частях, оценки коррозионного состояния арматуры, структурно-влажностные и электрофизические характеристики грунта, геометрические размеры ремонтного слоя и его прочностные свойства, высота оголовников над землей, глубина подземной зоны разрушения фундаментов.
- 9. Экономический эффект от предлагаемого метода локального «адресно-восстановительного» ремонта (ABP) получается за счет исключения из объемов ремонта опор и фундаментов, ремонт которых может быть обоснованно перенесен на более поздние сроки.
- 10. Применение специальных ремонтных составов (полимерных безусадочных цементов и модификаторов бетона) дает возможность полностью восстанавливать прочность фундаментов, имеющих значительное растрескивание и осыпание защитного слоя. При этом обеспечивается быстрый и экономичный ввод отремонтированной конструкции в эксплуатацию по сравнению с ее заменой.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации / М-во топлива и энергетики РФ, РАО «ЕЭС России», РД 34.20.501 95. 15-е изд. Перераб. и доп.-М.: СПО ОРГРЭС, 1996.–160 с.
- 2. Штенгель В.Г. О методах и средствах неразрушающего контроля для обследования эксплуатируемых железобетонных конструкций. В мире НК. 2002. № 2(16). С.12-15.
- 3. Ботин Г.П., Попонин С.А., Тарасов А.Г. Ультразвуковой контроль состояния железобетонных стоек опор и фундаментов воздушных линий электропередачи. /Материалы Первой международной научно-практической конференции «Линии электропередачи 2004: Опыт эксплуатации и научно-технический прогресс». Новосибирск, 20-24 сентября 2004.
- 4. Гунгер Ю.Р., Тарасов А.Г., Чернев В.Т. Ультразвуковой и вибрационный контроль состояния железобетонных стоек опор и фундаментов воздушных линий электропередачи. Электроинфо, № 11. 2005 г. с.40-43.
- 5. Розенталь Н.К. Электрохимический метод исследования коррозии стали в бетоне по поляризационному сопротивлению. Электроснабжение железных дорог. ЗИ: ЦНИИ ТЭИ МПС, 1993, №2, с.14-19.
- 6. Гуков А.И., Чадин. Аппаратура диагностики опор. Вибрационный и электрохимический методы. Электрическая и тепловозная тяга, 1981, №4, с.38-40.
- 7. Гунгер Ю.Р., Чернев В.Т. Диагностика опор и фундаментов воздушных линий электропередачи. Современные методы оценки. Новости электротехники, № 2. 2006 г. с. 134-136.
- 8. Заявка на изобретение № 2006103124. Гунгер Ю.Р., Чернев В.Т. Способ восстановления целостности железобетонных фундаментов опор и ремонтная рубашка для разрушенных железобетонных фундаменты опор для линий электропередачи.
- 9. Заявка на изобретение № 2006103248. Гунгер Ю.Р., Чернев В.Т. Способ ремонта железобетонных фундаментов опор линий электропередачи.

Официальный сайт компании:

http://fenix88.com