

ИД. К 621.3.001.1:621.372

В.И. Нерет

МЕТОДИКА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ КАБЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ СВЕТОСИГНАЛЬНЫХ СИСТЕМ АЭРОДРОМОВ

Разработаны и обоснованы диагностические параметры, а также алгоритм технического диагностирования кабельных колец с методикой принятия решения о возможности продления срока службы кабельных колец на определенный период в зависимости от их конкретного технического состояния.

Большинство аэродромов Украины укомплектовано светосигнальными системами типа ОМИ: М-2 и ОВИ, "Свеча-3", "Д-2", "Д-3" с последовательным питанием огней от регуляторов яркости через изолирующие трансформаторы.

Во многих аэропортах указанные системы уже выработали назначенный заводом-изготовителем срок службы, в связи с чем возникает проблема принятия решения об их списании или продлении срока службы на определенное время.

В настоящее время Украина не располагает производством собственного светосигнального оборудования, а аналогичное оборудование, которое выпускалось в Российской Федерации, частично уже снято с производства или морально устарело и не в состоянии конкурировать со светосигнальным оборудованием аэродромов (ССА), выпускаемым ведущими в этой области зарубежными фирмами.

Для приобретения импортного светосигнального оборудования, отвечающего всем стандартам ИКАО, требуются валютные средства, которыми аэропорты практически не располагают вследствие резкого снижения интенсивности воздушных перевозок пассажиров и грузов. Единственным выходом из сложившейся ситуации является продление срока службы ССА для обеспечения возможности функционирования аэропорта в сложных метеословиях днем и ночью.

Цель исследования – выбор и обоснование диагностических параметров для объективной оценки технического состояния кабельных колец (КК) ССА, что позволит принять правильное решение о возможности продления срока службы на определенный период.

Для достижения указанной цели сформулированы и решены следующие основные задачи:

- 1) анализ технических требований, предъявляемых к КК ССА в нормативно-технических документах гражданской авиации и материалах ИКАО;
- 2) анализ основных технических характеристик КК, режимов их работы, причин неисправностей и отказов;
- 3) экспериментальные исследования процессов изменения технического состояния изоляции кабеля в различных режимах работы КК и при различных погодных условиях;
- 4) выбор и обоснование диагностических параметров кабельного кольца, алгоритма технического диагностирования и методики принятия решения о возможности и периоде продления срока службы.

Актуальность поставленной проблемы, так же, как и высокая ответственность при решении поставленных задач, подтверждаются тем, что техническое состояние КК ССА оказывает непосредственное влияние на безопасность и регулярность полетов на этапе визуального пилотирования в сложных метеословиях днем и ночью. Принятие решения о возможности продления срока службы КК и выбор обоснованного периода продления является наиболее ответственным этапом и должен базироваться на научно обоснованных и достоверных результатах технического диагностирования КК. Основные результаты, полученные в работе, позволяют объективно оценить с помощью выбранных и научно обоснованных диагностических параметров конкретное техническое состояние каждого КК.

Продление срока службы КК может производиться с учетом требований надежности и экономичности. Поскольку отказы КК тесно связаны с регулярностью и безопасностью полетов, то, исходя из критерия надежности, продление срока службы КК допустимо в том

случае, если параметр потока отказов их не превзойдет к концу эксплуатации критического значения, допустимого по условиям безопасности полетов.

Продление срока службы КК по критерию экономичности нецелесообразно, если приведенные годовые затраты на его эксплуатацию с учетом ущерба, связанного с нарушениями регулярности полетов, превышают приведенные годовые затраты для КК новой ССА. Критерий экономичности является определяющим для деятельности аэропорта и связан с экономическими затратами стоимости эксплуатации, ущерба от нарушений регулярности полетов, стоимости нового оборудования и в данной работе не рассматривается. Поэтому остановимся на критерии надежности, обеспечивающем заданную безопасность полетов. По своей природе отказ КК – это постепенный отказ, так как вероятность одновременного снижения сопротивления изоляции в двух точках от десятков мегаом до сотен килоом пренебрежимо мала в условиях флоры и фауны Украины. Поэтому при непрерывном контроле сопротивления изоляции и при регулярных и периодических испытаниях ее электрической прочности повышенным напряжением можно гарантировать, что отказы КК по причине разрушения изоляции будут чрезвычайно редким событием, практически не оказывающим влияния на безопасность полетов. В связи с вышеизложенным можно констатировать, что для обеспечения высокого уровня безопасности полетов при продлении срока службы КК необходимо контролировать состояние изоляции по двум ее параметрам: сопротивлению и электрической прочности.

Минимальное значение сопротивления изоляции для продления срока службы предлагается установить равным 2 МОм исходя из следующих соображений. Мощность режима яркости (РЯ) для наиболее ответственных групп огней подхода и взлетно-посадочной полосы (ВПП), как правило, не превышает 16 кВт. При работе на пятой ступени яркости среднеквадратичное значение выходного переменного напряжения не будет превышать 2 кВ, а максимальное напряжение на изоляции при исправном ее состоянии, как было показано ранее, не превышает 1 кВ. При сосредоточенном разрушении изоляции и прохождении тока через него менее 0,5 мА развитие процесса разрушения изоляции не наблюдается или он протекает столь медленно, что будет длиться месяцами. Поэтому при сопротивлении изоляции $R = 2$ МОм разрушения изоляции под действием электрического рабочего поля не будет даже при локальном разрушении в зоне самых больших напряжений.

Если образуется несколько точек разрушения или они будут располагаться не по концам кабеля, то токи в них будут существенно меньше, что гарантирует длительную безотказную работу изоляции. Для КК с меньшими рабочими напряжениями токи утечки в зонах повреждения будут еще меньше, что обеспечивает их длительную безотказную работу. Таким образом, за нормируемое сопротивление изоляции при продлении срока службы можно принять 2 МОм, однако это значение должно быть получено в наиболее неблагоприятных погодных условиях при минимальном значении удельного сопротивления грунта на территории аэродрома.

В случае искусственного повреждения в одной из крайних точек КК, работающего от того же РЯ мощностью 16 кВт на пятой ступени, действующее значение напряжения на изоляции противоположного конца достигает 2 кВ, а амплитудное – соответственно 4 кВ (при угле управления $\alpha = 90^\circ$). В таком режиме изоляция должна длительно работать (в течение нескольких суток), пока место повреждения не будет найдено и устранено.

Отсюда можно заключить, что для продления ресурса КК необходимо длительно выдерживать воздействие переменного напряжения с амплитудой 4 кВ или действующего синусоидального напряжения 2,8 кВ. Поскольку время испытаний не превосходит 5 мин, то испытательное переменное напряжение должно быть выше указанного значения. Однако при испытаниях КК большой длины существенно возрастает мощность испытательных установок переменного тока за счет большей емкости кабеля и, кроме того, в случае медленного срабатывания защиты испытательной установки при пробое изоляции КК возникает опасность перегорания значительного количества ламп. Поэтому необходимо отдать предпочтение испытанию прочности изоляции на постоянном токе, учитывая при этом что электрическая прочность изоляции при воздействии постоянного напряжения существенно выше, чем при переменном напряжении и, следовательно, испытательное напряжение постоянного тока должно значительно превышать максимально возможное значение на изоляции в наиболее тяжелом аварийном режиме. Оно должна быть не ниже 5 кВ для кабелей с номинальным переменным напряжением 5 кВ (рекомендуемое ICAO).

Методика принятия решения о возможности и длительности продления срока службы учитывает не только его конкретное техническое состояние, но и статистические данные по отказам и неисправностям, полученные на протяжении нескольких лет эксплуатации.

Для продления ресурса КК служба электросветотехнического обеспечения полетов (ЭСТОП) должна провести предварительную работу по повышению сопротивления изоляции КК ССА, доведя его до 2 МОм при максимальной влажности грунта, и испытать их повышенным выпрямленным напряжением. Кроме того, должна быть приведена в порядок первичная техническая документация (паспорта КК); сделан анализ отказов КК за весь период эксплуатации ССА с детальным описанием каждого отказа, указанием даты, предполагаемой причины, времени, затраченного на устранение; определена относительная частота наиболее характерных причин отказов (имеющих наибольшую частоту); рассчитаны среднестатистические показатели параметров потока предпосылок к отказам: повреждений изоляции кабелей ($\bar{\omega}_{ок}$), соединительных муфт ($\bar{\omega}_м$), штепсельных разъемов ($\bar{\omega}_ш$) и замен изолирующих трансформаторов (ИТ) ($\bar{\omega}_{ит}$) за весь период эксплуатации и отдельно за последние три года; трудозатраты на поддержание КК в исправном состоянии и наработка ССА за последние три года эксплуатации, а также статистические сведения по общему количеству ИТ, суммарной длине высоковольтного кабеля и количеству муфт ($N_{ш}$, N_t , L_k , N_m) в ССА на момент продления ресурса.

1. Вначале анализируют статистику отказов КК, представленную службой, и определяют степень достоверности их первопричин, приведенных в статистике. Для проверки сомнительных случаев используют первичную документацию (паспорта КК). Корректируют относительную частоту характерных причин отказов.

2. Анализируют статистические значения параметров потоков предпосылок к отказам за последние три года эксплуатации. Они не должны существенно отличаться от среднестатистических значений за весь период эксплуатации и, самое главное, не иметь устойчивой тенденции к росту.

3. В первую очередь проверяют сопротивление изоляции КК по показаниям микроамперметров, вмонтированных в РЯ. Как указывалось ранее, сопротивление изоляции каждого КК должно быть не менее 2 МОм. При контроле необходимо выборочно проверять точность показаний приборов. Предполагается проверку осуществлять, подключая к одному из выходов РЯ заранее оттарированный заземляемый одним концом резистор с сопротивлением $R = 2$ МОм. При этом показания микроамперметра должны возрасти на 2 – 50 мкА. Если показания хотя бы одного из трех индикаторов на РЯ не укладываются в указанные пределы, то проверяют следующие три РЯ. Если из шести проверяемых приборов два и более не укладываются в заданные пределы точности, то проверке подлежат все измерители сопротивления изоляции РЯ с последующей корректировкой их показаний и выводом о том, укладываются ли сопротивление изоляции контролируемых КК в рекомендуемый норматив (2 МОм).

4. После контроля сопротивления изоляции также выборочно производят испытание трех КК повышенным напряжением постоянного тока длительностью 5 мин. В конце испытаний ток утечки не должен увеличиваться. В противном случае испытания продолжатся до его стабилизации. Уровень испытательного напряжения выбирается по согласованию с эксплуатирующей организацией в пределах 5 – 8 кВ для кабелей с номинальным напряжением 6 кВ и работающих совместно с РЯ мощностью 16 кВА и более. Для кабелей с номинальным напряжением 3 кВ или подключенных к РЯ мощностью 8 кВА и менее уровень испытательного напряжения может понижаться, но не более чем вдвое.

Если хотя бы одно из КК не выдерживает испытания повышенным напряжением, то подвергаются аналогичным испытаниям еще три КК. Если два из шести КК не выдерживают испытаний повышенным напряжением, то испытывают все КК ССА, для которых требуется продление срока службы. После завершения всех испытаний выносят решение о возможности продления срока службы КК ССА согласно следующим рекомендациям.

Срок службы продлевается на три года, если отсутствует за последние три года эксплуатационная тенденция к увеличению предпосылок к отказам по всем трем показателям или, по крайней мере, тем из них, которые ранее вызывали отказы КК; все КК имеют сопротивление изоляции свыше 2 МОм и успешно прошли испытание повышенным напряжением (7 – 8 кВ для КК, подключенных к РЯ мощностью 16 кВА и более, и не менее 4 кВ – для КК, подключенных к РЯ меньшей мощности или с номинальным напряжением 3 кВ).

Срок службы продлевается на два года, если нельзя уверенно гарантировать стабильность предпосылок к отказам или испытательные напряжения были снижены до 6 кВ для КК, подключенных к РЯ мощностью 16 кВА и выше, или до 3 кВ, подключенных к РЯ мощностью менее 16 кВА, или с $U_{ном} = 3$ кВ (встречаются КК с сопротивлением изоляции ниже 2 МОм).

Ресурс продлевается на один год, если имеется тенденция к нарастанию предпосылок к отказам, но не более чем в 2 – 3 раза за последний год при отсутствии значительного объема профилактических работ за тот же период, если встречаются КК с сопротивлением изоляции ниже 1 МОм; если уровень испытательных напряжений был снижен до 5 или 2,5 кВ соответственно для КК, подключенных к РЯ с $S_{ном} > 16$ кВА и $S_{ном} < 16$ кВА.

В случае, если не выдерживается хотя бы одно из условий, которые требуется выдерживать для продления срока службы на один год, и, если хотя бы один из кабелей не выдерживает минимального уровня испытательного напряжения, то срок службы не может продлеваться и требуется проведение профилактических работ по доведению технического состояния КК до требуемых нормативов. При этом в случае получения технических параметров кабелей по сопротивлению изоляции и испытательному напряжению, допускающих продление срока службы на три года, ввиду нарастания количества предпосылок к отказам продление срока службы на три года возможно не более, чем на два года (в зависимости от скорости нарастания).

Если проведение профилактических работ позволяет поддерживать технические характеристики КК на соответствующем уровне и не наблюдается существенного нарастания предпосылок к отказам, то разрешается продлевать срок службы КК ССА неоднократно.

По результатам выполнения работы можно сформулировать следующие основные выводы.

1. Проведение научных исследований с целью выбора и обоснования диагностических параметров КК ССА, используемых при оценке их технического состояния, является актуальным и своевременным.

2. Анализ нормативно-технических документов ГА и материалов ИСАО в исследуемой области продемонстрировал отсутствие строгих научно обоснованных требований к оценке технического состояния КК ССА, что еще раз подтверждает актуальность проведенных исследований.

3. Используемый в настоящее время для оценки технического состояния КК диагностический параметр – абсолютное значение сопротивления изоляции кабеля – является необходимым, но недостаточным для принятия решения о возможности продления срока службы КК ССА.

4. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили сформулировать и обосновать несколько диагностических параметров, используемых для объективной оценки технического состояния КК ССА, которые в свою очередь являются также необходимыми и достаточными для принятия решения о возможности продления срока службы КК ССА.

5. Алгоритм и методика диагностирования КК ССА предусматривает дифференцированный индивидуальный подход к вопросу о выборе периода, на который может быть продлен срок службы КК с учетом его конкретного технического состояния и эксплуатационной статистики данных по отказам и неисправностям.

Стаття надійшла до редакції 11 жовтня 1999 року.