

УДК 629.424.621.315.624.6

ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА РАБОТУ ИЗОЛЯЦИИ КОНТАКТНОЙ СЕТИ

© 2004 С.В. Коркина, И.В. Серяпова,¹ В.М. Руцкий,² П.П. Пурыгин³

В статье рассматривается проблема влияния загрязненной атмосферы на работу наружной изоляции контактной сети системы тягового электроснабжения железнодорожного транспорта. Проведена классификация источников загрязнения атмосферы с точки зрения влияния выбросов на электрическую прочность изоляции. Особое внимание уделяется железнодорожным источникам загрязнения. Приведены методика и результаты экспериментальных исследований загрязнений, снятых с изоляторов контактной сети. Исследована зависимость поверхностной плотности загрязнения изоляции от времени экспозиции.

Введение

В общей энергетике проблеме снижения электрической прочности высоковольтной изоляции вследствие влияния загрязненной атмосферы посвящено значительное количество экспериментальных и теоретических исследований. Наружная изоляция контактной сети из-за близости и большой мощности источников загрязнения работает в более тяжелых условиях, чем линии электропередачи, расположенные на высоте 20–30 метров.

Анализ опыта эксплуатации систем электроснабжения железнодорожного транспорта в районах с загрязненной атмосферой показывает, что повреждение наружной изоляции является одной из основных причин отказов контактной сети, а следовательно, перебоев в движении поездов. Из общего количества повреждений изоляции до 70% вызвано пробоем или перекрытием по загрязненной поверхности.

Источники загрязнения атмосферы, оказывающие наибольшее влияние на работу наружной изоляции системы электроснабжения железнодорож-

¹Коркина Светлана Владимировна, Серяпова Ирина Вениаминовна, кафедра физики и экологической теплофизики Самарской государственной академии путей сообщения, 443066, г. Самара, пер. Безымянный, 18.

²Руцкий Владимир Михайлович, Уральский государственный университет путей сообщения, 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66.

³Пурыгин Петр Петрович (puryginpp2002@mail.ru), кафедра органической химии Самарского государственного университета, 443011, г. Самара, ул. Акад. Павлова, 1.

ного транспорта, можно классифицировать следующим образом: естественные, возникающие в природных условиях без участия человека, и искусственные, возникающие в результате деятельности человека (рис. 1).

К **природным** источникам загрязнения атмосферы относятся пылевые, солевые и морские загрязнения. В районах с пылевыми загрязнениями влияние на работу изоляции контактной сети оказывают свойства почвы, в первую очередь, количество содержащихся в ней солей, их растворимость и способность к образованию электролита, а также ветровая эрозия почвы (дефляция) и сцепляемость частиц с поверхностью изолятора. В большинстве районов пылевые загрязнения не содержат большого количества проводящих примесей. В более неблагоприятных условиях работают высоковольтные линии, проходящие через районы с интенсивным сельскохозяйственным производством. В результате применения различных химических соединений (калийные соли, сульфат аммония, аммиачная селитра и другие сельскохозяйственные удобрения) увеличивается содержание растворимых проводящих примесей в грунте, что приводит к повышению опасности пылевых загрязнений для внешней изоляции.

Особую опасность представляют солевые загрязнения. В этом случае на изоляторах оседает пыль, поднимаемая ветром с поверхности засоленных почв, в составе которой имеется большое количество частиц, растворимых в воде и образующих электролит. Во многих районах с засоленными почвами дополнительным источником могут быть водоемы, вода которых содержит растворенные минеральные вещества (соленые озера, сиваши). На побережьях морей происходит загрязнение изоляции морской солью. На изолирующую способность изоляторов влияют увеличение солесодержания в морской воде, а также ветровой режим и рельеф местности.

К **искусственным** (антропогенным) источникам загрязнения атмосферы относятся промышленные предприятия и транспортный комплекс. Наибольшую опасность для наружной изоляции представляют выбросы химических, металлургических предприятий и предприятий электроэнергетики и топливной индустрии. Для предприятий электроэнергетики характерны выбросы пыли, содержащей частицы сажи. Так, при производстве 1 кВт·ч электроэнергии на электростанциях с современными котлами в топках образуется от 0.05 до 0.18 кг пыли. Осаждаясь на поверхность наружной изоляции и соединяясь с атмосферными осадками, она создает электролиты, приводящие к перекрытию изолятора. При выпуске чугуна и стали на тонну продукции в атмосферу выбрасывается от 5 до 20 кг пыли, основная масса которой состоит из окислов железа, меди и других составляющих с высокой электропроводностью [1].

Транспортный комплекс России является одним из основных загрязнителей атмосферы. Его доля в общем объеме загрязнения атмосферы составляет около 40%. По видам транспорта источники загрязнения атмосферы распределяются следующим образом: автотранспорт — 58%; железнодорожный — 25%; дорожно-строительный комплекс — 14%; воздушный — 2%; вод-



1. Снижение электрической прочности изоляции (перекрытия, потери энергии, электрокоррозия стержней изоляторов КС постоянного тока)
2. Коррозия металлических узлов КС

Рис. 1. Источники загрязнения атмосферы и их влияние на работу открытых электроустановок

ный — менее 1%. Доля передвижных источников в общем объеме загрязняющих веществ составляет 93.2% (более 10 млн т.), и эти показатели растут с ростом движения [2].

Железнодорожный транспорт как источник загрязнения атмосферы. Хотя железнодорожный транспорт оказывает меньшее воздействие на окружающую среду по сравнению с автотранспортом, его доля в загрязнении атмосферы остается достаточно высокой. За год от стационарных железнодорожных объектов поступает в атмосферу около 170 тыс. т. и от передвижных — 1650 тыс. т. загрязняющих веществ [2]. Воздействие объектов железнодорожного транспорта, в т.ч. подвижного состава, на окружающую среду заключается в загрязнении почвы, атмосферы соединениями тяжелых металлов, углеводородов, продуктами истирания узлов подвижного состава, различной по химическому составу пылью, поднимаемой с полотна и от перевозимых сыпучих грузов. Величина и состав загрязнения зависят от многих факторов: вида преобладающего движения (грузовое, пассажирское); вида тягового подвижного состава; интенсивности движения; среднегодовой температуры воздуха и др. На железнодорожном транспорте около 13 тысяч предприятий выбрасывают в атмосферу более 500 тыс. т. загрязняющих веществ.

Одним из самых значимых стационарных источников загрязнения атмосферы являются котельные железнодорожных предприятий. Рельсосварочные предприятия при сварке и шлифовке сварочных стыков выбрасывают в атмосферу пыль, содержащую оксиды металлов (железа, магния, алюминия).

Подвижной состав является передвижным источником загрязнения. Около 300 тыс. т. металлической пыли рассеивается ежегодно вдоль железнодорожных путей из-за истирания тормозных колодок, контактного провода и пр. Потери нефтепродуктов при их транспортировке составляют примерно 18 млн т. в год; потери угля — 16 млн т. в год [3]. Существует также проблема загрязнения рудной пылью, солью в связи с утечкой через неплотности кузовов вагонов и сдувания пылевидных фракций ветром при движении. К передвижным источникам загрязнения атмосферы относится также различная путевая техника. Дизельный подвижной состав оказывает наибольшее влияние на работу наружной изоляции электрифицированных линий (особенно контактной сети переменного тока), где применяется тепловозная тяга, а также в железнодорожных узлах с интенсивной маневровой работой. Из-за оседания сажи на изоляторах происходит нарушение работы контактной сети по причине перекрытия загрязненной изоляции, т.к. при увлажнении разрядное напряжение загрязненных изоляторов снижается в несколько раз.

Загрязнение опасно также тем, что способствует электролитическому разъеданию стержня подвесных изоляторов на контактной сети постоянного тока.

Передвижным источником, на который приходится максимальная доля

выбросов загрязняющих веществ в атмосферу, является тепловоз. Один тепловоз по выбросам эквивалентен 10–15 грузовым автомобилям. Общий объем выбросов загрязнений от тепловозов по РФ составляет около 3 млн т. и 9% суммарного выброса от передвижных источников загрязнения атмосферы [4].

В настоящее время на железных дорогах России эксплуатируется несколько десятков тысяч тепловозов. В целом по стране на сегодняшний день электрифицировано 40 тыс. км железных дорог, но на 45 тыс. км действует тепловозная тяга, а следовательно, существуют участки большой протяженности со смешанной тягой.

Отработавшие газы тепловозов представляют собой мелкодисперсный аэрозоль, состоящий из дисперсной среды и дисперсной фазы. В состав дисперсной фазы входят капли воды, топлива, масла, твердые частицы сажевых образований. Состав дисперсной среды: CO_2 , H_2O , CO , CH_x , оксиды азота, одноатомные C .

Осаждение частиц на поверхность изоляторов, а следовательно, и степень загрязнения изоляции определяются концентрацией частиц различного размера в исследуемой точке, т.е. зависят от расстояния до источника и от метеорологических условий. Осаждение твердых частиц на изоляцию контактной сети вблизи источников загрязнения происходит непрерывно. При отсутствии ветра рассеивание загрязняющих веществ (ЗВ) происходит очень медленно. В результате твердые частицы постепенно накапливаются на поверхности изоляторов. При неблагоприятных метеорологических условиях, таких как температурная инверсия, повышенная влажность воздуха и атмосферные осадки, накопление загрязнения на поверхности изоляторов может происходить особенно интенсивно. Осаждению ЗВ на изоляцию способствуют также мелкоморосящие дожди.

Количество загрязнения на поверхности изолятора характеризуется поверхностной плотностью, т.е. весом сухого вещества, приходящегося на единицу поверхности (mg/cm^2):

$$\gamma = \frac{m_3}{S_{\text{пов}}},$$

где m_3 — масса загрязнения, снятого с поверхности площадью $S_{\text{пов}}$.

Для определения поверхностной плотности естественного загрязнения производится счистка слоя со всего изолятора или с отдельных участков его поверхности. Для изолятора сложной формы выбирается n участков с равномерным слоем загрязнения и рассчитывается γ_i для каждого участка. Тогда среднюю поверхностную плотность загрязнения для всего изолятора можно рассчитать по приближенной формуле:

$$\gamma_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \gamma_i}{n}.$$

Очистка может производиться механическим способом (жесткой волося-

ной щеткой, скребком) или смывом загрязнения дистиллированной водой с последующим выпариванием. Снимая загрязнение с отдельных участков поверхности изолятора, можно оценить неравномерность слоя загрязнения.

1. Условия и методы экспериментальных исследований

Особый интерес при прогнозировании работы наружной изоляции систем электроснабжения железнодорожного транспорта в условиях загрязнения и увлажнения представляет процесс накопления загрязняющих веществ на поверхности изоляторов со временем. Использовать для исследования зависимости поверхностной плотности загрязнения от времени экспозиции действующие изоляторы контактной сети затруднительно, т.к. большинство изоляторов работают 28–30 лет. Массовая замена проводится только в течение последних 5–6 лет.

В качестве экспериментального "стенда" использовались демонтированные с тяговых подстанций трансформаторы тока типа ТФАД, простоявшие на территории ЭЧ ст. Жигулевское море Куйбышевской железной дороги разное количество лет (от 2 до 16) вблизи железнодорожного пути с интенсивным движением дизельного подвижного состава (маневровых тепловозов). Все загрязнение, накопленное на фарфоровой поверхности трансформаторов, поступало от подвижного состава, т.к. действующие трансформаторы периодически очищают от загрязнения. На поверхности каждого трансформатора выбирались 6–10 участков по 100 см², т.е. определялась средняя поверхностная плотность загрязнения фарфоровой детали трансформатора. Масса снятого загрязнения определялась на электронных весах второго класса точности.

Для исследования поверхностного слоя загрязнения изоляторов контактной сети были выбраны два участка с интенсивным движением тепловозов (механизированные горки) на станции Жигулевское море г. Тольятти (демонтировано 7 изоляторов КС типа ПФЕ–4.5 1970 года установки) и станции Кинель (демонтировано 11 изоляторов КС типа ПФЕ–4.5 1972 года установки) КБШ ж.д. Счистка слоя загрязнения производилась механическим способом с верхней поверхности изоляторов площадью 650 см². Химический анализ снятого с демонтированных изоляторов загрязнения проведен ЦЗЛ "Куйбышевазот" (г. Тольятти). Взвешивание сухого загрязнения произведено электронными весами второго класса точности с погрешностью до четвертого знака (с точностью до 0.0004 г). Потери сажи определялись сжиганием пробы в муфельной печи системы СНОУЛ при температуре до 1100 °С. Качественный анализ (наличие металлов) остатка производился спектрометром типа СТЭ–1 в комплекте с генератором УГ–1. Количественный анализ остатка произведен после растворения соляной кислотой с применением атомно-абсорбционного спектрофотометра "Сатурн–3". По-

лученный на фотопластине спектр расшифрован по атласам спектральных линий.

2. Результаты исследований и их обсуждение

По результатам эксперимента и расчетов получена зависимость средней поверхностной плотности загрязнения фарфоровой детали трансформаторов выбросами тепловозов (рис. 2) от времени экспозиции. Из графика видно, что накопление загрязнения на поверхности трансформаторов первые 3–4 года происходит медленно. И только когда на поверхности образуется тонкий слой, наблюдается быстрый рост поверхностной плотности загрязнения.



Рис. 2. Зависимость средней поверхностной плотности загрязнения фарфоровой детали трансформаторов выбросами тепловозов от времени экспозиции

Это объясняется тем, что аутогезионные силы (силы сцепления частиц между собой) превышают адгезионные силы (силы сцепления частиц загрязнения с поверхностью трансформатора). Поверхностная плотность увеличивается в течение нескольких лет, а затем процесс накопления загрязнения на поверхности практически прекращается, т.е. количество загрязнений на поверхности стабилизируется до определенного значения — предельной плотности загрязнения. Именно эта величина представляет основной интерес в задачах прогнозирования работы наружной изоляции в условиях загрязненной атмосферы.

Результаты химического анализа загрязнений, снятых с поверхности изоляторов, демонтированных с контактной сети, показали наличие в пробах сажи в среднем — 30%; продуктов истирания контактной сети, тормозных колодок и других металлических узлов подвижного состава: железа — 28%, меди — 0.043%, хрома — 0.11%, оксида цинка — 3%, оксида свинца — 3.76%. Величина поверхностной плотности загрязнений, которую можно считать предельной, составляет $0.3\text{--}0.6 \text{ мг/см}^2$.

Заключение

Проведенные исследования целесообразно использовать для прогнозирования работы наружной изоляции на перегонах со смешанной тягой, механизированных горках и других участках с интенсивным движением дизельного подвижного состава. Полученные данные представляют интерес при проектировании контактной сети переменного тока.

Литература

- [1] Кравченко В.А., Ментюкова А.М., Яковлев В.Н. Проектирование и эксплуатация изоляции электроустановок в условиях загрязненной атмосферы. Ташкент: ФАН, 1993. 203 с.
- [2] Переселенков Г.С. Транспортные коридоры и защита окружающей среды // Транспортное строительство. 2000. № 11. С. 13–15.
- [3] Бадаев А.С. Охрана и рациональное использование земель при строительстве и эксплуатации объектов железнодорожного транспорта // Вопросы экологии на железнодорожном транспорте. СПб: ЛИИЖТ, 1992. С. 8–10.
- [4] Мазур И.И., Молдаванов О.И. Курс инженерной экологии: Учеб. для вузов. М.: Высшая школа, 1999. 448 с.

Поступила в редакцию 19/IX/2003;
в окончательном варианте — 19/IX/2003.

ATMOSPHERE CONTAMINATION SOURCES AND THEIR EFFECT ON ELECTRIC ISOLATION OF CONTACT NET

© 2004 S.V. Korkina, I.V. Seryapova,⁴ V.M. Rutskiy,⁵ P.P. Purygin⁶

In the paper the contamination effect on the performance of catenary external isolation of the railway traction energy supply is studied. The classification of atmosphere contamination sources in view their effect on electric strength of isolation is provided. Methods and results of experimental research are given.

Paper received 19/IX/2003.

Paper accepted 19/IX/2003.

⁴Korkina Svetlana Vladimirovna, Seryapova Irina Veniaminovna, Dept. of General and Theoretical Physics, Samara State Academy of Railway Communication, Samara, 443066, Russia.

⁵Rutskiy Vladimir Michailovich, Ural State Railway University, Ekaterinburg, 620034, Russia.

⁶Purygin Pyotr Petrovich (puryginpp2002@mail.ru), Dept. of Organic Chemistry, Samara State University, Samara, 443011, Russia.