

Д.Б. Захаров¹, Д.Ю. Пионт¹, Р.Н. Лесняк¹

¹ ЗАО «Трубопроводные системы и технологии» (Щелково, Россия).

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМАМИ ПКЗ ОБЪЕКТОВ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ «СТРАЖ» ПРОИЗВОДСТВА ЗАО «ТРУБОПРОВОДНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ»

Практика эксплуатации стальных подземных трубопроводов и коммуникаций показывает, что качество их противокоррозионной защиты определяется главным образом эффективностью работы средств электрохимической защиты (ЭХЗ). При этом под эффективностью ЭХЗ необходимо понимать способность системы обеспечивать катодную поляризацию подземных сооружений на всем протяжении, соответствующую нормативным требованиям, при минимальных энергетических затратах. Критериями же оценки эффективности ЭХЗ являются защитный потенциал и защитная плотность тока, которые зависят от физико-химических свойств коррозионной среды и могут меняться во времени в широких пределах. Поддержание избыточного защитного потенциала (перезащита) относительно значений, необходимых для требуемой степени защиты объекта, может приводить к наводораживанию и охрупчиванию металла труб, повреждению изоляционного покрытия, перерасходу электроэнергии и повышенному износу элементов системы ЭХЗ, что в целом значительно увеличивает стоимость эксплуатации системы противокоррозионной защиты (ПКЗ). В свою очередь, недостаточный защитный потенциал (недозащита) приводит к повышению скорости коррозионного поражения металла сооружений и в результате – к преждевременному выходу объекта из строя.

В эксплуатации задача оптимизации работы средств ЭХЗ решается регулированием выходных параметров станций катодной защиты (СКЗ). Каждый специалист, сталкивавшийся с наладкой систем ЭХЗ, знает, какой это трудоемкий и кропотливый процесс. Изменение режимов на СКЗ приводит к изменению защитных параметров объекта не только в обследуемой защитной, но и в смежных зонах. В условиях отсутствия достаточной информации по всем факторам, влияющим на коррозию, в том числе и изменяющимся во времени

(сложному пространственному взаимному влиянию одной СКЗ на потенциалы нескольких сооружений или нескольких СКЗ на один трубопровод, влиянию экранирующих объектов и сторонних источников токов, удельному сопротивлению грунта, температуре, плотности постоянного и переменного токов и т. д.), специалистам, эксплуатирующим системы ЭХЗ, практически невозможно принять решение об оптимальных выходных режимах работы СКЗ, обеспечивающих нормативную защищенность по протяженности на всех сооружениях

одновременно с минимальными энергозатратами. Находящиеся в эксплуатации системы управления СКЗ работают по одному заданному параметру, без адаптации к изменяющимся условиям, что в целом снижает эффективность ЭХЗ. Решение комплекса задач по оптимизации работы средств ЭХЗ целесообразно осуществлять в рамках системы коррозионного мониторинга (СКМ), обеспечивающей сбор, обработку, хранение и анализ информации об объекте и системе ПКЗ. При этом одними из основных функций СКМ являются:

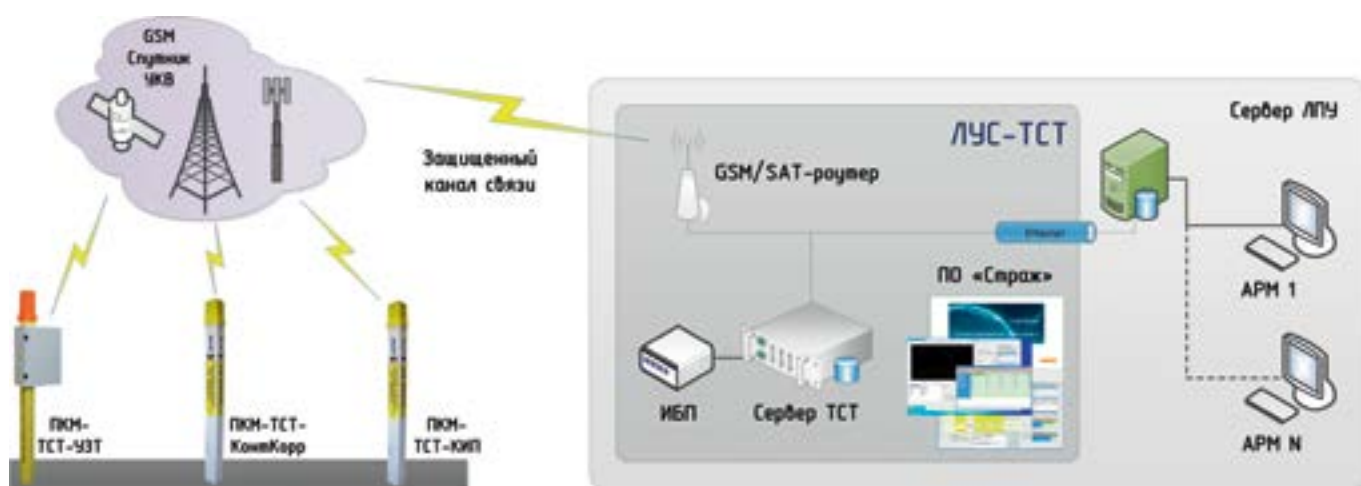


Рис. 1. Использование ПО «Страж» при ПНР и оптимизации режимов системы ЭХЗ

- расчет показателей защищенности от коррозии объекта;
- построение математической модели, описывающей взаимное влияние объектов защиты, режимов работы элементов системы ПКЗ и внешних факторов, влияющих на коррозионные угрозы;
- построение модели объекта защиты с определением влияния режимов работы СКЗ и отказов любого элемента системы ПКЗ на величину показателя защищенности в любой точке контроля;
- выполнение прогноза параметров на требуемый горизонт расчета параметров ПКЗ и режимов работы средств ЭХЗ;
- определение текущего состояния и остаточного ресурса оборудования и элементов системы ПКЗ;
- решение многокритериальных задач по оптимизации работы средств ЭХЗ в целях снижения коррозионных угроз и увеличения ресурса элементов ПКЗ (показатель защищенности в зависимости от внешних факторов, влияющих на скорость коррозии, потребляемая мощность и др.).

Для реализации ряда указанных функций СКМ компанией ЗАО «Трубопроводные системы и технологии» разработано программное обеспечение (ПО) «Страж», которое является подсистемой СКМ для решения сложных математи-

ческих и аналитических задач и предназначено для использования специалистами защиты от коррозии различных производственно-технологических объектов в повседневной производственной деятельности для оптимального управления средствами ЭХЗ, оперативного реагирования на нештатные ситуации (отказы в работе оборудования ЭХЗ и электроснабжения), поддержки принятия управленческих решений, планирования и обоснования затрат на диагностику, техническое обслуживание и ремонт (ДТОиР) средств ЭХЗ. Возможно использование комплекса при ПНР и оптимизации режимов системы ЭХЗ (рис. 1).

ПО «СТРАЖ» РАСШИРЯЕТ БАЗОВЫЙ ФУНКЦИОНАЛ ЛОКАЛЬНЫХ УЗЛОВЫХ СТАНЦИЙ ЛУС-ТСТ В ПОДСИСТЕМАХ КОРРОЗИОННОГО МОНИТОРИНГА ПКМ-ТСТ И ОБЕСПЕЧИВАЕТ РЕШЕНИЕ СЛЕДУЮЩИХ АНАЛИТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ:

- управление системой ПКЗ производственно-технологических комплексов любой сложности;
- коррозионный мониторинг объектов защиты;
- построение математических моделей, описывающих взаимное влияние объектов защиты, режимов работы элементов системы ПКЗ

и внешних факторов, влияющих на коррозионные угрозы;

- построение модели объекта защиты с определением влияния режимов работы СКЗ и отказов любого элемента системы ПКЗ на величину показателя защищенности в любой точке контроля;
 - расчет показателей защищенности от коррозии объекта;
 - решение многокритериальных задач по оптимизации работы средств ЭХЗ в целях снижения коррозионных угроз и увеличения ресурса элементов ПКЗ (показатель защищенности в зависимости от внешних факторов, влияющих на скорость коррозии; потребляемая мощность и др.);
 - выполнение прогноза параметров системы ПКЗ на требуемый период;
 - определение текущего состояния и остаточного ресурса изоляционных и защитных покрытий, оборудования и элементов системы ПКЗ;
 - формирование показателей надежности и технического состояния системы ПКЗ для СУТСЦ;
 - поддержка подготовки и принятия управленческих решений.
- В ПО «Страж» использованы передовые методы профессиональных знаний предметной области. Математическое обеспечение представлено комплексом расчетных задач по вычислению параметров технологического процесса на ос-

новании измеренных физических величин. Исходными данными для построения математических моделей, описывающих взаимное влияние объектов защиты и определения оптимальных режимов работы станций катодной защиты (СКЗ), эксплуатационных рекомендаций являются выходные параметры (выходной ток) на различных режимах работы СКЗ и соответствующая этим режимам защищенность объекта (защитный потенциал). В этом случае при фиксированной системе анодных заземлений задача определения параметров ЭХЗ сводится к нахождению зависимостей потенциалов каждой точки от величины токов, стекающих с анодных заземлений, и решается с применением методов регрессионного анализа.

Задача определения оптимальных режимов СКЗ формулируется следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} U_{\max 1} &\geq A_{01} + A_{11}I_1 + A_{21}I_2 + \dots + A_{n1}I_n \geq U_{\min 1} \\ U_{\max 2} &\geq A_{02} + A_{12}I_1 + A_{22}I_2 + \dots + A_{n2}I_n \geq U_{\min 2} \\ &\dots \dots \dots \\ U_{\max k} &\geq A_{0k} + A_{1k}I_1 + A_{2k}I_2 + \dots + A_{nk}I_n \geq U_{\min k} \end{aligned} \right\}$$

$0 \leq I_j \leq C_j$, где:

I_j – ток j -й УКЗ, $j = 1; 2; \dots; n$; A_{nk} – коэффициенты влияния j -й СКЗ на суммарную разность потенциалов в точке измерения, определяемые методом наименьших квадратов; $U_{\min i}, U_{\max i}$ – максимально допустимые и минимальные защитные потенциалы i -й точки; C_j – верхнее ограничение по току.

Задача оптимизации системы ЭХЗ, т. е. определения оптимальных режимов СКЗ, сводится к минимизации выходной мощности всех СКЗ, используемых для защиты объекта при соблюдении ограничений на разности потенциалов. Физический смысл задачи: определить такие значения силы тока на выходе СКЗ, при которых будет обеспечена полная защищенность всех коммуникаций без перезащиты при минимальном расходе на это электроэнергию (т. е. минимальными выходными токами СКЗ).

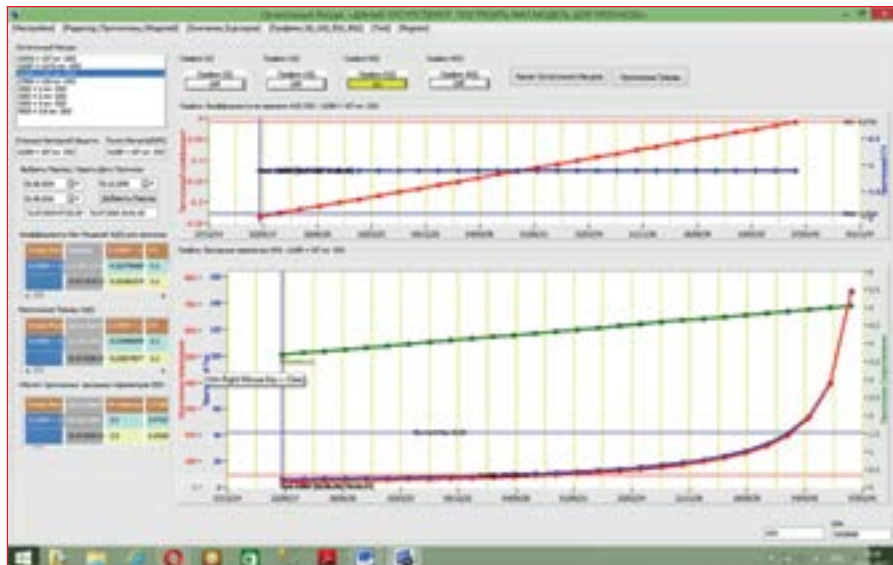


Рис. 2. Интерфейс ПО «Страж»: расчет остаточного ресурса и визуализация графиков изменения прогнозных выходных параметров СКЗ

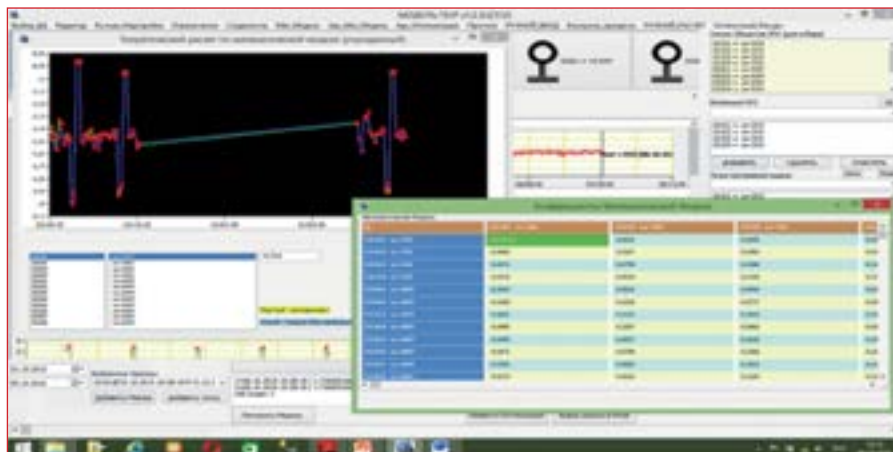


Рис. 3. Интерфейс ПО «Страж»: построение и визуализация математической модели и графика обратного теоретического расчета

Задача определения текущей защищенности и выявления незащищенных участков коммуникаций определяется подстановкой в систему значений текущих токов СКЗ и расчетом разностей потенциалов каждой конкретной точки. По результатам этих расчетов можно определить незащищенные участки коммуникаций или участки с завышенными значениями защитного потенциала. Метод оптимизации систем ЭХЗ представляет собой одну из разновидностей симплекс-метода для оптимизации целевой функции.

Выбор методов структурной оптимизации, введение ограничений

на величину максимального допустимого потенциала и снижение суммарного выходного тока системы ПКЗ помимо увеличения энергоэффективности влечет за собой ряд существенных преимуществ, таких как:

- уменьшение влияния на свойства металла и изоляционные покрытия повышенной плотности тока;
- пропорциональное уменьшение средней скорости растворения анодных заземлений;
- увеличение ресурса средств ЭХЗ за счет вывода их в резерв.

Экономическим результатом оптимизации режимов работы СКЗ является снижение затрат эксплу-

атирующих организаций за счет уменьшения энергопотребления системы ЭХЗ и снижения затрат на ремонт анодных заземлений.

Реализованы методики и алгоритмы определения технического состояния, остаточного ресурса, прогноза изменения параметров оборудования и материалов системы ПКЗ. Техническое состояние элементов системы ПКЗ оценивается на основании расчета и прогнозирования изменения во времени математической модели, описывающей влияние выходного тока всех СКЗ на величину защитного потенциала в точках контроля, с последующим расчетом изменения выходных параметров СКЗ во времени и сроков достижения их номинальных значений.

ПО «Страж» выполнено в модульном исполнении с возможностью изменения и добавления математических задач, интерфейса и т. д. под конкретного пользователя (эксплуатирующую организацию), под конкретный проект с возможностью взаимодействия с различными смежными системами. Работает под управлением операционной системы Windows 7, 8, 10. ПО создано в среде разработки Delphi (Object Pascal) Embarcadero, базы данных системы работают под управлением СУБД MS SQL Server 2008 R2. В ПО заложена функция параметризованного отбора данных на основе структурных иерархий из локальных либо удаленных смежных информационных и управляющих систем. Проведена интеграция с различными производителями оборудования ЭХЗ, систем дистанционного коррозионного мониторинга в части обработки баз данных.

В ЧАСТИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ И ГЕНЕРАЦИИ ОТЧЕТНЫХ ФОРМ ПО «СТРАЖ» ОБЕСПЕЧИВАЕТ ОТОБРАЖЕНИЕ (РИС. 2–3):

- технологической схемы с нанесенными точками контроля, объектами регулирования, измеряемыми параметрами;

- графиков изменения во времени выходных параметров СКЗ и защищенности объекта в контрольных точках;
- коэффициентов математических моделей и графиков теоретического расчета по математической модели;
- результатов оптимизации;
- результатов расчета и трендов изменения во времени прогнозных выходных параметров СКЗ;
- результатов оценки и расчета технического состояния и остаточного ресурса элементов системы ПКЗ;
- совместного представления данных на временной оси и/или оси трубопровода по различным разделам базы данных для сопоставления результатов разных методов измерения.

Обеспечена возможность архивирования всех рассчитанных математических моделей, результатов оптимизации и других расчетов для последующей работы с ними.

В ПО «СТРАЖ» ТАКЖЕ РЕАЛИЗОВАНЫ СЛЕДУЮЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПОЗВОЛЯЮЩИЕ РАСШИРИТЬ ГРАНИЦЫ ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ:

- работа с любыми производителями подсистем дистанционного коррозионного мониторинга (СКМ), смежными информационными и управляющими системами;
- модульность построения архитектуры;
- ручной ввод данных при необходимости расчета дополнительных объектов, не охваченных СКМ;
- возможность расширения функционала системы, внесения изменения в ПО;
- сопровождение, возможность установки обновлений для всех пользователей, подключенных по локальной сети, и установки ПО на существующие аппаратные комплексы;
- эргономичность (минимизация усилий пользователей по подготовке исходных данных, применению

ПО и оценке полученных результатов);

- адаптируемость (возможность изменения при изменении объектов управления, в том числе при введении нового технологического оборудования).

Применение специализированного ПО «Страж» при пусконаладочных работах и коррозионных обследованиях позволяет рассчитать оптимальные параметры системы ПКЗ объектов производственно-технологических комплексов любой сложности с минимальным использованием людских и материальных ресурсов, что существенно сокращает затраты на проведение указанных работ и эксплуатацию объекта в целом, а также позволяет минимизировать человеческий фактор.

Таким образом, разработано ПО, выполняющее оптимальное согласованное управление группами связанных технологических объектов системы ПКЗ в режиме автоматизированного управления, представляющее собой расчетно-аналитическую систему, осуществляющую поиск и выработку оптимальных решений задач управления с учетом оперативной информации о текущем состоянии и динамике хода коррозионных процессов на основе расчета и использования математических моделей, описывающей взаимное влияние объектов защиты.



ТРУБОПРОВОДНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

ЗАО «Трубопроводные системы и технологии»
141112, Московская обл.,
г. Щелково, ул. Московская, д. 77
Тел./факс: +7 (495) 647-03-07
e-mail: info@pipe-st.ru
www.pipe-st.ru