

СКВОЗНАЯ ТРАССИРОВКА ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОИСКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ САПН: ОТ ВХОДНЫХ ДАННЫХ К ИТОГОВОМУ ОТЧЁТУ

Самоволик А.Н.^{1,2}, Пискажова Т.В.¹

¹*Сибирский федеральный университет, Красноярск;*

²*Красноярский политехнический техникум, Красноярск*

Ключевые слова: диагностика неисправностей, электрический щит, пошаговая диагностика, трассировка данных, маршрут D1-D5, журнал дефектов, отчёт диагностики, локализация неисправности.

Аннотация. В работе рассматривается практический подход к повышению воспроизводимости поиска неисправностей в электрических щитах за счёт сквозной трассировки диагностической информации в системе автоматизации поиска неисправностей. Предложено описывать диагностику как преобразование входных наблюдений и измерений, введённых пользователем, в последовательность формализованных диагностических записей с временными метками и последующим формированием итогового отчёта. На примере неисправности «обрыв цепи в силовой части» показано прохождение информации через ключевые модели и этапы диагностики, что обеспечивает прозрачность результата и возможность последующего анализа действий.

END-TO-END TRACING OF DIAGNOSTIC INFORMATION IN THE FAULT DETECTION AUTOMATION SYSTEM (FDAS): FROM INPUT DATA TO THE FINAL REPORT

Samovolik A.N.^{1,2}, Piskazhova T.V.¹

¹*Siberian Federal University, Krasnoyarsk;*

²*Krasnoyarsk Polytechnic College, Krasnoyarsk*

Keywords: fault diagnosis; electrical cabinet, step-by-step diagnosis, data tracing, D1-D5 route, defect log, diagnostic report, fault localization.

Abstract. The paper presents a practical approach to increasing the reproducibility of fault diagnosis in electrical cabinets by means of end-to-end tracing of diagnostic information in the Fault Detection Automation System. The diagnostic process is described as a transformation of user-entered observations and measurements into a sequence of formal diagnostic records with timestamps and the subsequent generation of a final report. Using the fault “open circuit in the power part” as an example, the paper demonstrates how information passes through the key models and phases of diagnosis, which improves the transparency of the result and enables further analysis of the performed actions.

1. Введение

Диагностика неисправностей электрощитов в пусконаладке традиционно опирается на опыт наладчика и набор «проверенных» приёмов. Однако при смене персонала, ограниченном времени и высокой вариативности отказов такие приёмы оказываются трудно обосновать и воспроизвести [1].

Один из практичных способов снизить зависимость от «устного опыта» – формализовать диагностику как пошаговый маршрут и фиксировать результаты каждого шага в виде структурированных записей, из которых автоматически формируется итоговый отчёт. В работах [2-4] показано, что такой подход может

быть реализован в системе автоматизации поиска неисправностей (САПН) и использоваться в качестве обучающего и производственного инструмента.

Цель данной статьи – показать, как в рамках САПН может быть организована сквозная трассировка диагностической информации: от входных данных (наблюдения/измерения, введённые пользователем) до итогового отчёта. Объект рассмотрения – диагностика неисправностей промышленного электрического щита автоматики.

Практическая значимость и элементы новизны: предложено рассматривать диагностику как управляемую цепочку преобразований «инструкция → ввод результата → интерпретация → формирование записи r_j → отчёт», где каждая выявленная неисправность фиксируется стандартизированной диагностической записью и попадает в итоговый отчёт. Такой способ изложения повышает воспроизводимость процедуры, облегчает обоснование вывода и упрощает последующий анализ действий диагноста (в пусконаладке, эксплуатации и обучении) [2-4].

2. Объект, входные данные и результаты диагностики

Объект диагностики – электрический щит (электроустановка), содержащий силовую часть и цепи управления/сигнализации. В статье рассматривается ситуация, когда система ведёт пользователя по формализованному маршруту проверки.

Входные данные формируются в ходе сеанса диагностики и включают:

- результаты визуального осмотра (наличие/отсутствие признаков неисправностей);
- результаты электрических испытаний (измерение параметров на ключевых узлах и прозвонка цепей);
- результаты электрических измерений (например, «есть/нет сигнала», «норма/не норма»).

Процесс диагностики в САПН организован как последовательность фаз D1-D5 и реализуется в виде пошаговых инструкций пользователю. На ранних шагах выполняется визуальный осмотр и электрические испытания, далее – целевые измерения в силовой и управленческой частях. Пользователь выполняет указанные проверки и вводит результат в систему. Для прозвонки и контрольных измерений применяется мультиметр (режим «проверка диодов» либо измерение сопротивления).

В типовом сценарии прозвонки красный щуп фиксируется в исходной точке проверяемой цепи, а чёрный последовательно переносится по контрольным точкам до конечных точек нагрузки (A1); при подтверждении признака неисправности выполняется уточнение, локализация (A2) с пошаговым перемещением точки измерения вдоль цепи.

Выходные данные задаются как набор диагностических записей, которые затем упорядочиваются по времени и представляются пользователю в виде итогового отчёта [2-4].

САПН анализирует пять основных типов неисправностей: визуальные неисправности (в т.ч. отсутствие/некорректная маркировка, механические повреждения, несоответствие индикации, отсутствие проводника), неправильные

настройки (некорректный выбор временной и токовой уставок), короткие замыкания (в силовой цепи, цепях управления и сигнализации), обрыв проводника (в силовой цепи, цепях управления и сигнализации), перепутанные проводники (неверные коммутационные соединения в силовой цепи, цепях управления и сигнализации) [3, 4].

3. Идея сквозной трассировки и роль моделей

Под сквозной трассировкой диагностической информации будем понимать цепочку преобразований:

- 1) система формирует пользователю указание (какую проверку выполнить и где);
- 2) пользователь выполняет действие (осмотр/измерение) и вводит результат;
- 3) система интерпретирует результат и решает, какой следующий шаг выполнить;
- 4) при выявлении неисправности система формирует диагностическую запись и добавляет её в журнал;
- 5) по завершении маршрута система формирует итоговый отчёт как хронологический перечень выявленных неисправностей.

Границы рассмотрения. В данной статье под трассировкой понимается прослеживаемая цепочка преобразований диагностических данных от шага проверки (D1-D5) через фиксацию результата в диагностической записи и журнале до формирования итогового отчёта. Архитектура программного обеспечения и детали реализации рассматриваются только в той мере, в какой они обеспечивают формирование журнала и отчёта.

Термины. Термин «неисправность» используется как обозначение выявленного отказа/отклонения в объекте диагностики. Термин «дефект» далее применяется как регистрационная единица: структурированная диагностическая запись r_j о выявленной неисправности с указанием узла, адреса/цепи, точки возникновения и рекомендации. Выражение «журнал дефектов» означает внутренний журнал таких записей, который затем упорядочивается и преобразуется в итоговый отчёт [2-4].

Главная идея визуализируется на рисунке 1, где показана трассировка на примере неисправности «обрыв цепи в силовой части».

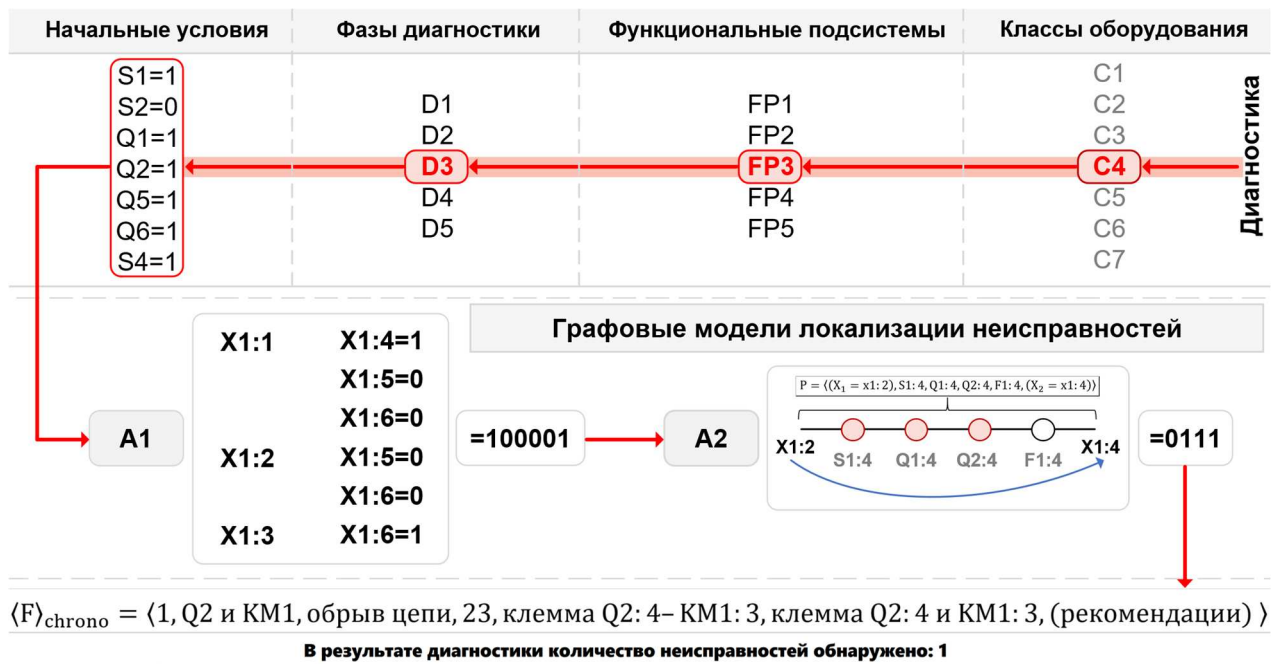
Пояснения к обозначениям на рисунке 1. C1-C7 – классы оборудования щита; FP1-FP5 – функциональные подсистемы; D1-D5 – фазы диагностики, задающие маршрут контроля. Примеры расшифровки: C2 – Q1-Q6 (автоматические выключатели); C4 – KM1-KM8 (контакторы); C5 – S1-S11 и X2 (кнопки и клеммный блок); C7 – H1-H16 (индикаторы) [2-4].

Пояснение A1 и A2. A1 – процедура «от начала к концу»: последовательная проверка контрольных точек вдоль проверяемой ветви до подтверждения признака неисправности. A2 – процедура «точечной локализации»: после подтверждения неисправности выполняется уточнение адреса путём пошагового перемещения точки измерения вдоль цепи [2-4, 5].

Важно, что в таком описании модели следует воспринимать как средства для того, чтобы:

- задать порядок проверок (маршрут);

- связать результаты измерений с диагностическим выводом;
- обеспечить формирование стандартизированного отчёта.



1. Обрыв цепи, проводник 23 (Q2:4-KM1:3):
Проведите перекоммутацию оборудования в соответствии с технической документацией:
а) демонтируйте проводник 23 с оборудования: контактора (KM1) клеммы KM1:3 (при помощи шлицевой отвертки с шлицом SL3) и автоматического выключателя (Q2) клеммы Q2:4 (при помощи фигурной отвертки с шлицом PZ2);
б) подключите первый конец нового проводника 23 к контактору (KM1) к клемме KM1:3 (при помощи шлицевой отвертки с шлицом SL3);
в) подключите второй конец нового проводника 23 к автоматическому выключателю (Q2) к клемме Q2:4 (при помощи фигурной отвертки с шлицом PZ2);
* используйте бокорезы (стриппер) для заготовки обрезков проводов ПугВ1х2,5, стриппер (съемник изоляции) для снятия изоляции с проводов, пресс-клещи для опрессовки проводов наконечниками НШВИ 2,5-8 и НШВИ(2) 2,5-8.

Рис. 1. Схема сквозной трассировки потока диагностической информации между моделями (пример: обрыв цепи в силовой части)

4. Маршрут диагностики и управление шагами

В САПН диагностика организуется как последовательность фаз (D1-D5), которая охватывает путь от первичной оценки до фиксации результата.

Здесь D1 – визуальный осмотр, D2 – электрические испытания, D3 – прозвонка силовой схемы, D4 – поиск неисправностей в управленческой части, D5 – завершение поиска и формирование отчёта.

На каждом этапе выполняется один из типовых действий:

- выдача пользователю инструкции (что проверить/измерить);
- ввод пользователем результата выполненных диагностических действий;
- переход к следующему шагу маршрута;
- формирование диагностической записи о неисправности.

Ключевой момент для трассировки: каждый введенный пользователем результат привязывается к конкретному шагу маршрута и может быть использован либо для выбора следующего шага, либо для формирования диагностической записи.

Пример экранной инструкции, в которой пользователю задаются точки измерения и фиксируется результат проверки, показан на рисунке 2 [2-4]. На рисунке приведён частный сценарий (ПП на МЗ), однако он используется здесь как иллюстрация универсального механизма «инструкция -> ввод результата», который применяется и для рассматриваемого случая обрыва в силовой части.

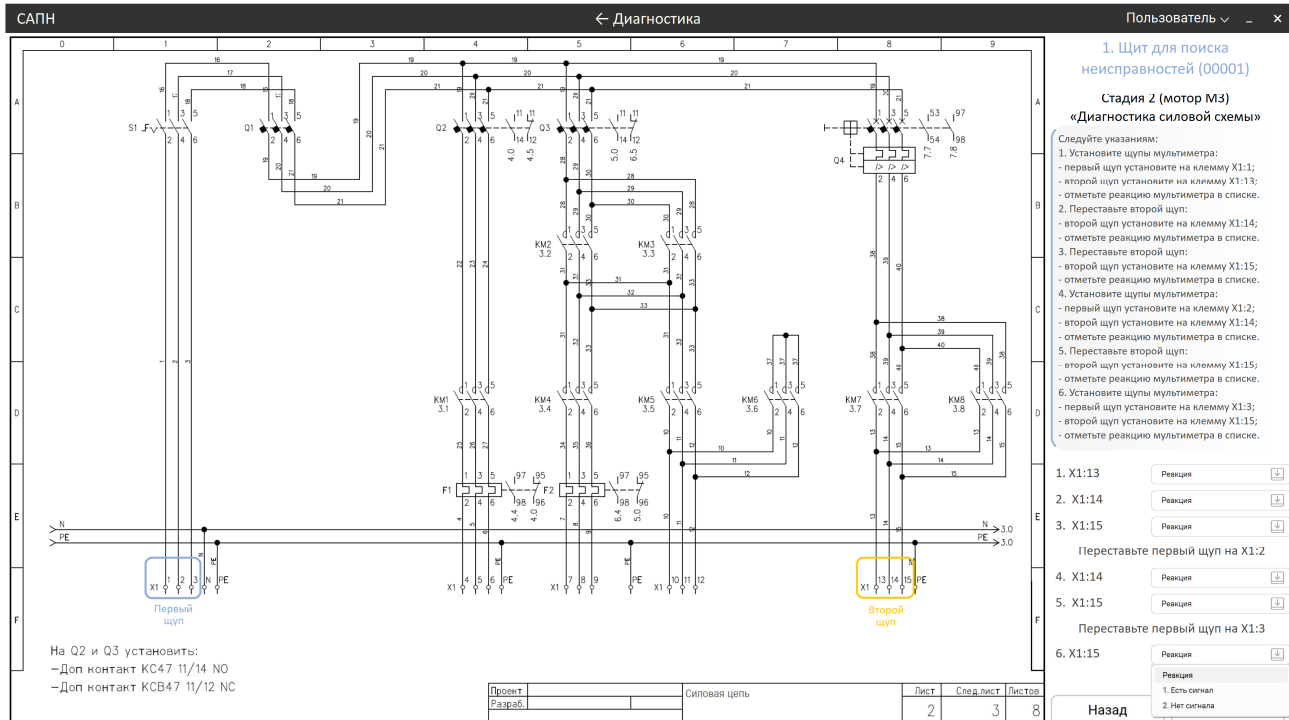


Рис. 2. Внешний вид экрана «Диагностика ПП (перепутанных проводников) на МЗ (прямой пуск)» (пример выдачи инструкции и ввода результата)

5. Диагностическая запись и журнал дефектов

Когда по результатам действий/измерений фиксируется неисправность, система формирует диагностическую запись r_j и добавляет её во внутренний журнал дефектов. На прикладном уровне запись необходима, чтобы: (1) кратко зафиксировать, что именно неисправно (тип неисправности); (2) указать адрес/точку локализации; (3) выдать рекомендацию по устранению.

Для минимально достаточного описания неисправности целесообразно использовать следующую структуру записи:

$$r_j = \langle n_j, e_i, d_j, w_j, a_j, t_j, p_j \rangle, r_j \in F, \quad (1)$$

где n_j – номер записи в отчёте (например: 1); e_i – идентификатор диагностируемого узла (например: «Электротепловое реле F2»); d_j – тип обнаруженного отказа (например: «Обрыв проводника»); w_j – номер(а) проводников, затронутых дефектом (например: 91); a_j – адрес цепи, в которой выявлена проблема (например: F2:97 – KM2:53); t_j – точка (клемма/контакт) непосредственного возникновения отказа (например: клемма F2:97); p_j – краткая инструкция по восстановлению работоспособности (например: «Проведите перекоммутацию...»); F – множество диагностических записей (журнал дефектов), формируемых в ходе диагностики.

Таким образом, $F = \{r_1, r_2, \dots, r_m\}$ представляет собой журнал дефектов системы, в котором каждая запись однозначно связывает узел e_i с типом неисправности и рекомендацией. Дальнейшее хронологическое упорядочение записей и формирование итогового представления результатов ($\langle F \rangle_{\text{chrono}}$) выполняются на завершающем этапе и рассмотрены в разделе 6 [2-4].

6. Хронологическая трассировка и формирование итогового отчёта

Чтобы сохранить «фактическую картину» действий диагноста, журнал формируется в хронологическом порядке обнаружения: каждой записи

сопоставляется временная метка $\tau(r_j)$, после чего записи хронологически сортируются.

Удобно описывать это двумя простыми выражениями:

1. Агрегирование результатов по этапам маршрута (2):

$$F = \bigcup_{k=1}^5 F_{D_k}, \quad (2)$$

где F_{D_k} – подмножество записей, сформированных на k -м этапе.

При этом фаза D5 новых диагностических записей r_j не формирует; $FD5=\emptyset$. На D5 выполняется упорядочение и оформление результатов (формирование отчёта).

2. Построение хронологического списка (3):

$$\langle F \rangle_{\text{chrono}} = \text{Sort}(F, \tau) = \langle r_{(1)}, r_{(2)}, \dots, r_{(q)} \rangle, \quad (3)$$

Далее упорядоченный список преобразуется в экранную форму «Результат диагностики» и текстовый отчёт, пригодный для экспорта в отчётный документ.

Пример программной реализации представления результатов диагностики приведен на рисунке 3 на экране «Результаты диагностики», сформированного по итогам упорядочивания журнала [2].

В прикладной трактовке итоговый отчёт – это нумерованный перечень выявленных неисправностей, оформленных в виде записей r_j с краткими характеристиками и рекомендациями. Таким образом, трассировка «вход $\rightarrow$ записи $\rightarrow$ отчёт» формирует прозрачный результат диагностики [2-4].



Рис. 3. Экран «Результаты диагностики» (перечень выявленных неисправностей с локализацией и рекомендуемыми действиями)

7. Пример сквозной трассировки: «обрыв цепи в силовой части»

Ниже приведён упрощённый сценарий, соответствующий логике рисунку 1:

а) инициация шага – система выводит пользователю инструкцию: какой участок силовой цепи проверить и где выполнить измерение (рис. 2);

б) ввод результата – пользователь выполняет проверку и выбирает/вводит результат (например, «сигнал отсутствует»);

в) интерпретация – система сопоставляет результат с ожидаемыми реакциями и определяет, подтверждён ли признак неисправности (например, «обрыв») (рис. 1);

г) уточнение (локализация) – если неисправность подтверждена на уровне первичных признаков, система предложит дополнительные проверки для локализации участка (перемещение точки измерения вдоль цепи по заданному порядку); на этом шаге уточнение выполняется по формализованным правилам и процедурам локализации, после чего фиксируется точка возникновения/обнаружения;

д) формирование записи – после локализации формируется диагностическая запись r_j : фиксируется элемент/адрес, тип неисправности, точка возникновения и рекомендация;

е) пополнение журнала – запись добавляется в множество F с меткой времени $\tau(r_j)$;

ж) финал – по завершении маршрута система строит $\langle F \rangle_{\text{chrono}}$, формирует итоговый отчёт и отображает его пользователю (рис. 3).

Ключевое преимущество такой подачи для практики: по итоговому отчёту можно восстановить логику действий и основания вывода, а не только «что сломалось» [2-4].

8. Обсуждение и ограничения

Предложенное описание трассировки ориентировано на прикладное использование и даёт следующие эффекты:

- повторяемость: одинаковые входные результаты приводят к одинаковой структуре отчёта;

- трассируемость: каждый цикл диагностики однозначно трассируется от класса оборудования через функциональную подсистему к фазе проверки; обеспечивается наглядная трассировка каждого шага от физического узла до итогового отчёта; упрощается документирование и верификация результатов;

- удобство анализа: отчёт можно использовать как краткий протокол диагностики.

Ограничения подхода типичны для пошаговых систем:

- качество результата зависит от полноты пройденного маршрута и качества базы знаний (правил/сценариев);

- некоторые сложные неисправности могут требовать дополнительных измерений или большего числа диагностических итераций;

- при отсутствии достоверных измерений (ошибка ввода, неисправный прибор) вывод может требовать повторной проверки [2-4].

9. Заключение

По результатам рассмотрения предложенного подхода можно сформулировать следующие выводы:

1. Сквозная трассировка диагностической информации позволяет связать ввод пользователя, шаги маршрута и итоговый отчёт в единую прозрачную цепочку.

2. Диагностическая запись r_j выступает минимальным атомарным «артефактом» результата: она хранит адрес, тип неисправности и рекомендацию.

3. Хронологическая сборка $\langle F \rangle_{\text{chrono}}$ обеспечивает воспроизводимое представление результата и упрощает последующий анализ действий.

4. На примере «обрыв цепи в силовой части» показано, как данные сеанса преобразуются в отчёт, пригодный для экспорта в отчётный документ.

Список литературы

1. Науменко А.П. Введение в техническую диагностику и неразрушающий контроль: учебное пособие. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2019. – 152 с.
2. Самоволик А.Н., Пискажова Т.В. Развитие автоматизации диагностики неисправностей в электрических установках // Автоматизация процессов управления. – 2024. – №3(77). – С. 42-54. – DOI: 10.35752/1991-2927_2024_3_77_42.
3. Samovolik A.N., Piskazhova T.V. Fault Detection Automation System (FDAS): Unified Interface and Step-By-Step Diagnostic Process for Industrial Electrical Cabinets // Advances in Automation VII: Proceedings of the International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2025. – Cham: Springer, 2026. – P. 694-703. (Lecture Notes in Electrical Engineering; vol. 1521). DOI: 10.1007/978-3-032-14742-4_60.
4. Самоволик А.Н., Пискажова Т.В., Осипова В.А. Методика поиска неисправностей в промышленных электрических щитах автоматики // Автоматизация в промышленности. – 2023. – №4. – С. 21-24. – DOI: 10.25728/AVTPROM.2023.04.04.
5. Карпов Д.В. Теория графов: монография. – СПб.: СПбОМИ РАН, 2017. – 563 с.

Сведения об авторах:

Самоволик Андрей Николаевич – аспирант; преподаватель специальных дисциплин;

Пискажова Татьяна Валериевна – д.т.н., профессор Института цветных металлов.