

# МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ ГАЗОВЫХ ПРОМЫСЛОВ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПАО «ГАЗПРОМ»

УДК 655.15.011.56

Г.Е. Бувалый, ПАО «Газпром автоматизация» (Москва, РФ)

В.С. Завершинский, ПАО «Газпром автоматизация»

**Предметом настоящей статьи является анализ функций, структуры и параметров интегрированных систем мониторинга и диагностики с точки зрения использования указанных систем на объектах ПАО «Газпром» для минимизации численности постоянно присутствующего на объектах ремонтного персонала и оптимизации общей деятельности по ремонту и техническому обслуживанию оборудования.**

**Терминология, относящаяся к диагностике, соответствует ГОСТ 20911–89, устанавливающему основные понятия в области технического диагностирования и контроля технического состояния объектов.**

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** МОНИТОРИНГ, ДИАГНОСТИКА, ТЕХНИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ, ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ И РЕМОТНЫЙ ПЕРСОНАЛ, НАДЕЖНОСТЬ, БЕЗОПАСНОСТЬ, ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ.

Применение малолюдных технологий на газовых объектах и комплексах становится одним из основных направлений технической политики ПАО «Газпром». Возрастающие требования к надежности, эффективности и безопасности работы газовых промыслов, внедрение малолюдных технологий, минимизирующих постоянное присутствие и участие ремонтного персонала в ходе эксплуатации объектов, становятся достижимыми только при условии применения систем мониторинга и диагностики технического состояния (ТС) оборудования и средств автоматизации. Наличие таких систем является прямым требованием СТО Газпром 2-2.1-1043–2016 [1].

## ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИАГНОСТИКИ ТС

Целью диагностики является оптимизация организации технического обслуживания и ре-

монта оборудования в условиях малолюдных технологий через контроль ТС объекта [2] по следующим направлениям (функционалам диагностирования):

- контроль функционирования – объем выполнения (готовности к выполнению) свойственных объекту функций;
- обнаружение отказа (неисправности) технологической установки (узла, единицы оборудования), поиск места и определение причин отказа;
- прогнозирование ТС, например для определения с заданной вероятностью интервала времени (ресурса), в течение которого сохранится работоспособное (исправное) состояние объекта.

Задачи, которые необходимо решить при построении системы мониторинга, обеспечивающей достижение указанных целей, отражены на блок-схеме (рис. 1).

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ ТС

Подробно рассмотрим шаги последовательного решения задач построения интегрированных систем мониторинга и диагностики ТС оборудования и средств автоматизации, показанные на рис. 1.

### Определение функционала (объема диагностических функций) проектируемой системы

Наиболее важными диагностическими функциями с точки зрения значимости получаемых результатов, вытекающими из целей создания системы, являются:

- 1) идентификация конкретных дефектов элементов и узлов оборудования, т. е. обнаружение отказа (неисправности) с определением места и, по возможности, предполагаемых причин отказа. Данная функция позволяет:

**Buvalyi G.E.**, Gazprom avtomatizatsiya PJSC (Moscow, RF)

**Zavershinskiy V.S.**, Gazprom avtomatizatsiya PJSC

### Design methods of monitoring and diagnostics systems for gas field equipment and automation facilities with due regard for the requirements of regulatory documents of Gazprom PJSC

The subject of this article is the analysis of functions, structure and parameters of integrated monitoring and diagnostics systems from the point of view of their use at Gazprom PJSC's facilities to minimize the number of ever-present repair personnel at facilities and to optimize the overall equipment repair and maintenance activity.

The terminology related to diagnostics complies with GOST 20911-89 that establishes main concepts in technical diagnostics and condition monitoring of facilities.

**KEY WORDS:** MONITORING, DIAGNOSTICS, TECHNICAL CONDITION, OPERATING AND REPAIR PERSONNEL, RELIABILITY, SAFETY, ECONOMIC EFFICIENCY.

- оперативно скорректировать текущий технологический процесс (или как минимум принять дополнительные меры контроля);

- своевременно приступить к устранению дефекта;

- зафиксировать факт отказа для набора статистики по фактической надежности оборудования;

- своевременно изменить конфигурацию взаимодействия элементов для сохранения функции (например, изменить мажоритарную схему голосования «2 из 3» на схему «1 из 2» для сохранения функции защиты при отказе одного из датчиков или включить резервное оборудование взамен отказавшего, переведенного в режим «ремонт»);

- поставить четкую задачу ремонтному персоналу с определением необходимой численности мобилизации, срочности и временных рамок, технического оснащения;

2) контроль состояния оборудования с отнесением его к одному из установленных предварительно видов позволяет:

- оперативно получать обобщенную (при необходимости с возможностью детализации) информацию о состоянии установки (производственного участка, объекта);

- формализовать работу эксплуатационного и ремонтного персонала установки (производственного участка, объекта)



Рис. 1. Блок-схема последовательного решения задач построения систем мониторинга и диагностики ТС оборудования и средств автоматизации

в зависимости от вида технического состояния, предусмотрев согласованные действия (с организацией тренировок), адекватные фактическому состоянию оборудования;

3) прогнозирование ТС элементов, узлов оборудования и процессов развития обнаруженных дефектов позволяет:

- принять превентивные меры для предотвращения возможного отказа элементов и узлов оборудования с сохранением параметров текущего технологического процесса;

- подготовить необходимые материалы и инструменты для минимизации времени для мобилизации персонала и устранения отказа;

4) прогнозирование ТС объекта (производственного комплекса) в целом позволяет выявлять тенденцию и значимость отклонения технологических режимов и параметров оборудования от проектных (состояния начала эксплуатации) и, следовательно, планировать техническое обслуживание, ремонт, очистку трубопроводов, политику эксплуатации скважин и корректировку параметров процесса.

Реализация последней функции может идти двумя принципиально различными путями.

В первом варианте система прогнозирования ТС объекта в целом представляет собой программное обеспечение, интегрирующее прогнозирование ТС элементов, узлов оборудования по алгоритмам иерархической дискретной оценки ТС объекта в целом и его укрупненных частей. Следует отметить, что этот вариант позволяет получить необходимые для оперативных действий ремонтного и эксплуатационного персонала на объекте сведения при минимальных затратах.

Во втором варианте система строится на основе математического моделирования технологических процессов объекта с использованием проектного

объема контроля технологических параметров и с интеграцией специфической информации состояния оборудования (вибрация, температура подшипников, диагностика состояния средств автоматизации и т. п.).

Следует отметить, что второй вариант требует расширенной базы знаний об объекте и его оборудовании, более сложного математического аппарата для моделирования и значительного по времени периода адаптации системы к объекту, необходимого для калибровки модели в привязке к фактическим характеристикам оборудования во всем диапазоне производительности объекта и эксплуатационных режимов.

При наличии на объекте тренажера на базе математической модели объекта его математическое и программное обеспечение может использоваться в целях диагностики после сравнительно небольшой адаптации. Справедлива и обратная зависимость – сравнительно несложный переход от функции диагностики к функции тренажера.

#### Определение требуемого объема мониторинга (объема контролируемых параметров)

На практике для диагностики довольно редко специально вводят какие-либо контролируемые параметры. Как правило, при определении объема мониторинга исходят из перечня параметров контроля технологического процесса в сумме с перечнем параметров, контролируемых согласно заводской документации на оборудование. В связи с этим проектировщик системы диагностики технического состояния обычно решает обратную задачу – максимальное извлечение диагностической информации из имеющегося (предписанного нормативной и заводской документацией) объема мониторинга. На начальных этапах создания системы мониторинга дается оценка количеству диагностиче-

ской информации, которую можно получить косвенным методом, например из соотношения параметров давления и температуры или давлений на входе и выходе аппаратов.

Принципиального различия в алгоритмах построения систем диагностики технологического оборудования и средств автоматизации нет, но в силу специфики элементной базы и наличия в составе вычислительных средств практическая реализация диагностики систем автоматизации намного проще и дешевле. Наличие в составе средств автоматизации элементов со встроенной внутренней диагностикой типа контроллеров, интеллектуальных датчиков и интеллектуального привода упрощает задачу. Это привело к тому, что на подавляющем большинстве объектов ПАО «Газпром» системы автоматизации оснащены мониторингом и диагностикой технического состояния, что является самым предпочтительным способом получения требуемой надежности систем автоматизации при приемлемых затратах. Методы расчета показателей надежности систем автоматики, учитывающие диагностирование элементов, приведены в ГОСТ Р МЭК 61508-2-2007 [3] и ГОСТ Р МЭК 61508-6-2007 [4].

#### Определение видов и архитектуры ТС

Вид ТС – это формулировка его интегральной оценки, влекущая заранее запланированные в эксплуатационной документации действия эксплуатационного персонала и, при необходимости, ремонтных и иных служб. Определение вида ТС необходимо для организации оптимальных действий персонала с точки зрения адекватности фактическому состоянию оборудования и минимизации затрат на нормализацию ситуации.

Число видов (ступеней) ТС выбирается с учетом следующего:

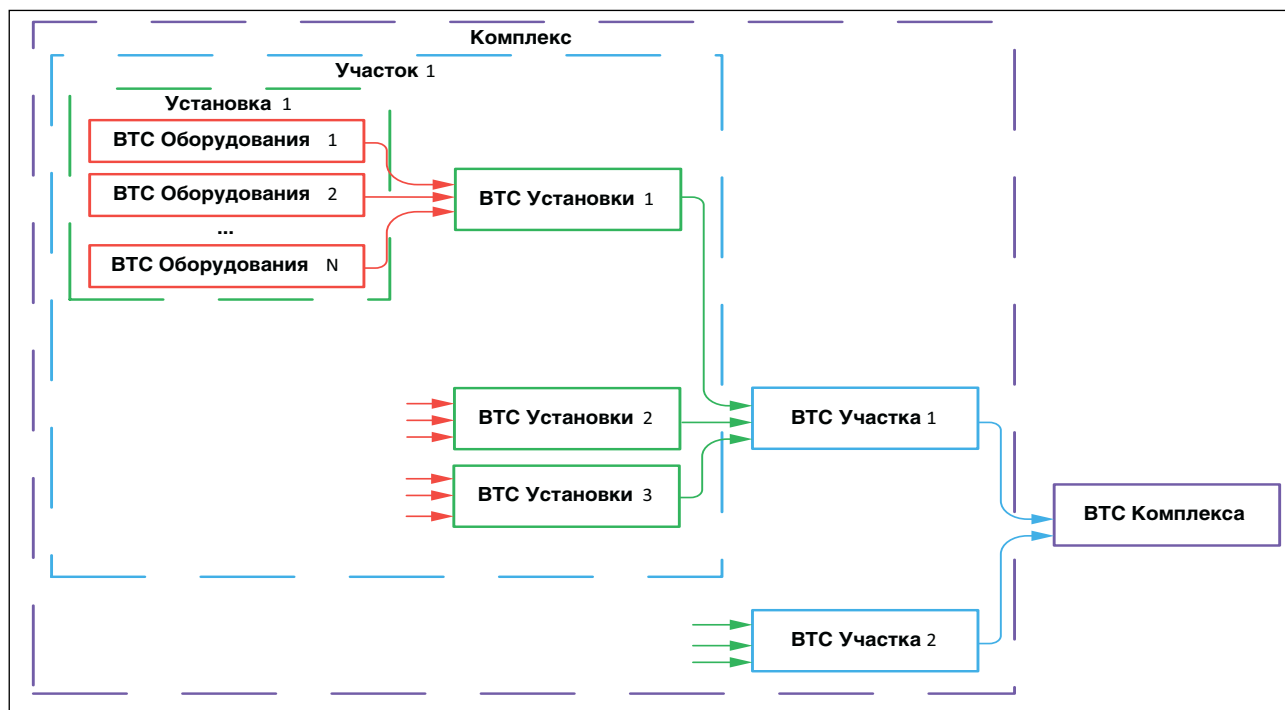


Рис. 2. Упрощенная схема архитектуры видов ТС производственного комплекса

- малое число видов ТС (например, в РД-19.020.00-КТН-073-07 [5] предписывается два вида: «нормативное» и «ненормативное» состояния) препятствует оптимизации действий персонала;

- большое число видов ТС приводит к «размытию» границ технических состояний, усложняется алгоритм действий персонала (например, в [6] приводится пять видов ТС. Пятый – «предельное» – относится к принятию технико-экономического решения о снятии изделия с эксплуатации и не имеет никакого отношения к действиям эксплуатационного и ремонтного персонала).

СТО Газпром 2-2.1-1043-2016 предписывает следующие виды ТС, приведенные в порядке деградации от состояния нормального функционирования диагностируемого объекта к состоянию невозможности продолжения функционирования:

- «хорошее»;
- «допустимое»;
- «требует принятия мер»;
- «недопустимое».

Виды ТС иерархичны, т. е. образуют архитектуру, в которой совокупность отдельных значений параметров и диагностических признаков по определенному алгоритму приводит к формулированию видов ТС единиц оборудования. Совокупность видов ТС единиц оборудования и диагностических признаков – к виду ТС установки, в которую входит оборудование, и так далее до формулировки диагноза состояния выбранного верхнего уровня интеграции, например производственно-технологического комплекса. Упрощенная схема архитектуры видов ТС производственного комплекса без формирования вида ТС оборудования приведена на рис. 2.

Из определенного ранее объема мониторинга для объектов диагностирования выбирают диагностические признаки и параметры, необходимые для формирования технического диагноза каждого вида оборудования. В случае если объем мониторинга, включая сформированные по расчетным или логическим формулам

косвенные параметры, недостаточен для получения заключения какого-либо вида, корректируют функционал диагностирования или объем мониторинга.

#### Выбор методов и разработка алгоритмов получения технических диагнозов и прогнозов

Методы выработки диагнозов ТС обработки по специальным алгоритмам являются комбинациями следующих базовых событий и признаков:

- выхода непосредственно измеряемого диагностического параметра за пределы установленной границы значений;
- выхода расчетного диагностического параметра (например, разности давлений, вычисленной по давлению температуры и т. п.) за пределы установленной границы значений;
- наличия неблагоприятного тренда, непосредственно измеряемого или вычисляемого диагностического параметра;
- наличия неблагоприятного одновременного тренда, нескольких

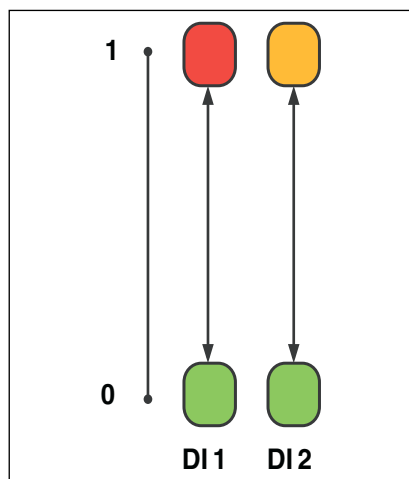


Рис. 3. Примеры установления границ значений фиксации отклонений отдельных аналоговых и дискретных параметров

диагностических параметров в условиях, когда тренд каждого из них находится в допустимых пределах;

- наличия фактов самопроизвольного отключения (включения, перестановки, действия), совершенного без команды оператора (управляющего);
- диагностической информации от встроенных в оборудование заводских средств;
- данных о проведенных процедурах поверки, освидетельствования, технического обслуживания оборудования;
- диагностической информации, введенной вручную.

С точки зрения организации надежной относительно влияния единичных отказов оборудования эксплуатации в условиях малолюдных технологий виды ТС коррелируют с регламентированными действиями персонала следующим образом:

- «хорошее» – все оборудование находится в нормативном состоянии, действия персонала не требуются;
- «допустимое» – имеются отклонения процедурного характера (например, истечение срока планового техобслуживания или поверки приборов) или имеется статистически значимый тренд изменения параметров в грани-

цах допустимых значений. Со стороны персонала требуется принятие соответствующих решений, после чего производится квитирование сигнала «допустимое»;

- «требует принятия мер» – отклонения параметров достигают отметок предупредительной сигнализации. Набор принимаемых мер сдержит: изменение режима (например, снижение параметров прокачки РД 51-4.2-003-97 [7]), изменение конфигурации используемого оборудования (АВР, обход неисправного оборудования и т. п.), мобилизацию ремонтного персонала и организацию ремонтных работ и другие меры, переводящие оборудование в состояние «хорошее»;

- «недопустимое» – выход параметров за пределы нормальной эксплуатации. Прекращение работы технологической установки (узла, единицы оборудования), имеющей указанный вид ТС, принятие мер для сохранения достижимой в сложившихся условиях производительности, организация срочного ремонта.

Следует отметить, что в приведенных выше соотношениях видов ТС с действиями персонала должна учитываться иерархичность технологической компоновки. Так, например, вид ТС «недопустимое» резервируемой единицы оборудования может приводить к виду ТС «требует принятия мер» для установки, в которую входит резервируемая единица оборудования.

#### Определение границ фиксации отклонений

Для каждого диагностического параметра или признака (группы связанных параметров или признаков) должны быть определены границы значений соответствующего вида ТС, в рамках которых он находится. Границы значений и виды ТС определяются проектировщиком системы диагностики в зависимости от влияния значения параметра на общую функцио-

нальность объекта диагностики. Следует отметить, что вид ТС не каждого объекта диагностики может принимать состояния «допустимое» или «требует принятия мер». В общем случае область изменения параметров соответствующего уровня может быть разбита только на два или три из четырех видов ТС в зависимости от влияния параметра на оценку ТС. Для дискретных параметров (типа «работает» – «остановлено») естественным будет разбиение на два вида. Примеры установления границ значений фиксации отклонений отдельных аналоговых и дискретных параметров приведены на рис. 3.

Стоит отметить ряд особенностей:

- границы значений фиксации отклонений в общем случае не соотносятся с технологическими установками аналоговых параметров;
- наличие нескольких зон с одинаковым видом ТС для отдельного аналогового параметра не увеличивает общее количество видов ТС по данному параметру.

Пример графа разбиения на виды диагностических заключений ТС единицы оборудования, для параметров которого установлены границы, приведен на рис. 4.

Пример графа разбиения на виды диагностических заключений ТС узла, состоящего из двух идентичных единиц оборудования, каждая из которых обеспечивает проектную производительность, приведен на рис. 5. Для упрощения графа показаны 9 из 16 возможных сочетаний видов ТС.

При рассмотрении логики графов разбиения на виды диагностических заключений необходимо учитывать, что в случае, если при формулировке вида ТС возникает ситуация, при которой вид ТС не определяется однозначно, приоритет отдается состоянию с большим уровнем деградации.

Примеры разбиения диапазонов параметров на области со-

ответствия различным видам ТС приведены на рис. 6.

#### Определение состава и структуры программно-технических средств

Системы мониторинга и диагностики ТС оборудования строятся на базе систем контроля и управления диагностируемым объектом, которые, в свою очередь, для надлежащего выполнения функции должны иметь диагностику своего ТС.

Программно-технический комплекс системы диагностики должен быть достаточным для выполнения системой следующих функций:

- сбора данных об объектах мониторинга как автоматически, так и способом ручного ввода;
- ведения базы данных объектов мониторинга, включая статистику отказов и проведение операций обслуживания и ремонта;
- ведения оперативных журналов дефектов и событий;
- оценки состояния оборудования по видам;
- формирования оперативных сообщений;
- прогнозирования состояния оборудования;
- вывода диагностической информации в реальном времени в объеме, учитывающем зону ответственности конкретного пользователя, включая оповещение пользователей;
- обмена данными со смежными и вышестоящими системами контроля и управления.

Структура программно-технических средств системы мониторинга и диагностики ТС оборудования в общем случае совпадает со структурой систем контроля и управления объекта. Дополнительными рекомендациями являются:

- максимальное использование датчиков, модулей преобразования, вычислительных средств и средств связи систем контроля и управления диагностируемого объекта;
- выделение отдельного сервера для приема, обработки и

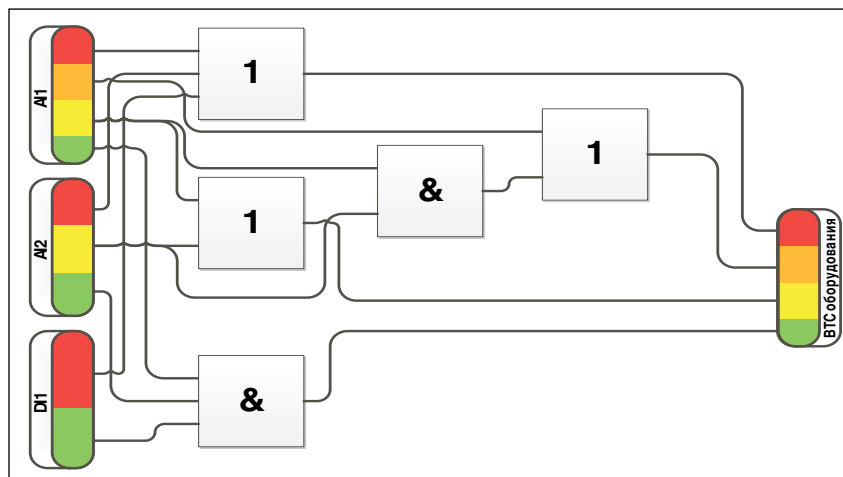


Рис. 4. Пример графа разбиения на виды диагностических заключений ТС единицы оборудования

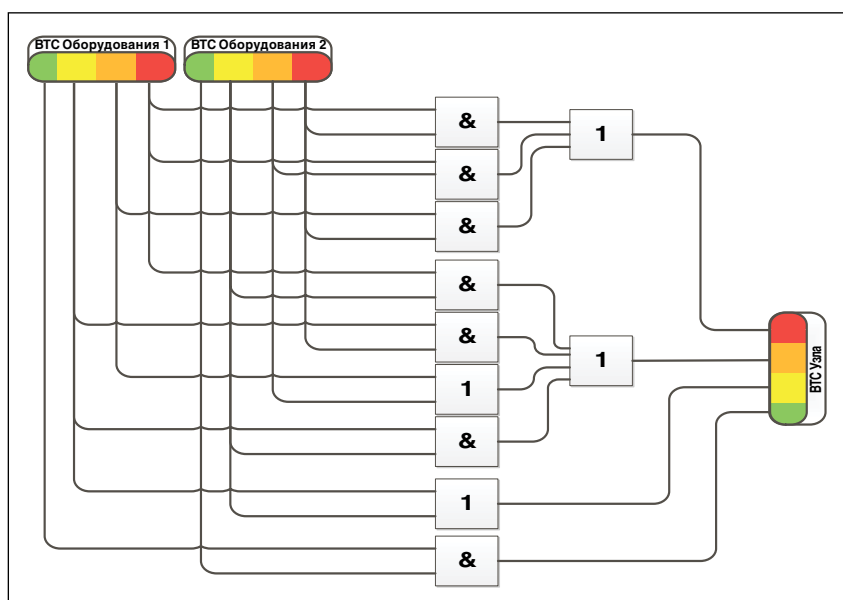


Рис. 5. Пример графа разбиения на виды диагностических заключений ТС узла, состоящего из двух идентичных единиц оборудования

хранения диагностической информации;

- для обеспечения независимой работы системы контроля и управления, а также системы диагностики, если последняя вводится на этапе реконструкции, предусматривать отдельное автоматизированное рабочее место (АРМ) для вывода диагностической информации. При проектировании нового объекта целесообразно рассматривать возможность вывода обобщенной информации о виде текущего ТС объекта зоны

ответственности оператора на АРМ оператора (АРМ контроля и управления);

- детальная информация о виде ТС объекта, а также составляющих его установок и устройств выводится на выделенный АРМ специалиста по настройке и обслуживанию системы мониторинга и диагностики ТС оборудования. В случае реализации системы мониторинга целиком на средствах АСУ объектом возможно совмещение функций АРМ системы мониторинга и АРМ инженера АСУ;

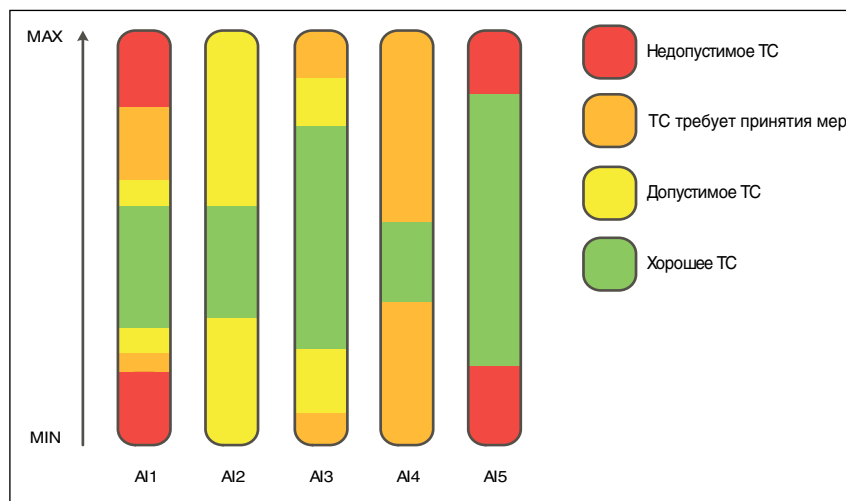


Рис. 6. Пример графа разбиения на виды диагностических заключений ТС оборудования, для параметров которого установлены границы ТС

- в случае необходимости углубленного комплексного анализа диагностических состояний с применением математических моделей целесообразно выделение отдельного сервера или использование ресурсов имеющегося в системе сервера математического моделирования;
- использование принципа отрицательной логики в обработке дискретных сигналов для повышения надежности результатов диа-

гностики, когда отсутствие сигнала (логический ноль) интерпретируется как наличие неисправности (сообщение «Неисправность» принимает значение логической единицы);

- проектируя структуру технических средств, избегать, по возможности, вариантов отказа средств диагностики и диагностируемого участка объекта по общей причине (отключение питания, механические повреждения, затопление и т. п.).

## ВЫВОДЫ

1. Сформулированы цели и задачи систем мониторинга и диагностики ТС оборудования и средств автоматизации с учетом требований нормативной документации ПАО «Газпром».

2. Предложена последовательность решения задач построения интегрированных систем мониторинга и диагностики оборудования и средств автоматизации газовых промыслов в условиях малолюдных технологий.

3. Детально рассмотрен возможный набор функций системы, даны рекомендации по оптимизации объема требуемого мониторинга диагностических параметров и признаков.

4. Предложены терминология и архитектура разбиения на виды технического состояния в дискретной форме.

5. Рекомендованы методы и приведены примеры алгоритмов выработки диагностических заключений.

6. Даны рекомендации по определению функций и структуры программно-технических средств. ■

## ЛИТЕРАТУРА

1. СТО Газпром 2-2.1-1043–2016. Автоматизированный газовый промысел. Технические требования к технологическому оборудованию и объемам автоматизации при проектировании и обустройстве на принципах малолюдных технологий. М.: Газпром экспо, 2016. 31 с.
2. ГОСТ 20911–89. Техническая диагностика. Термины и определения. М., 2009.
3. ГОСТ Р МЭК 61508-2–2007. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 2. Требования к системам. М.: Стандартиформ, 2008.
4. ГОСТ Р МЭК 61508-6–2007. Функциональная безопасность систем электрических, электронных, программируемых электронных, связанных с безопасностью. Часть 6. Руководство по применению ГОСТ Р МЭК 61508-2-2007 и ГОСТ Р МЭК 61508-3-2007. М.: Стандартиформ, 2008.
5. РД-19.020.00-KTN-073–07. Методика диагностики и оценки технического состояния оборудования автоматики НПС (ЛПДС, НБ) и РП. М.: ОАО АК «Транснефть», 2007. 15 с.
6. Богданов Е.А. Основы технической диагностики нефтегазового оборудования: Учеб. пособие для вузов. М.: Высшая школа, 2006. 279 с.
7. РД 51-4.2.-003–97. Методические рекомендации по расчетам конструктивной надежности магистральных газопроводов. М., 1997.

## REFERENCES

1. Gazprom Company Standard 2-2.1-1043–2016. Automated Gas Field. Technical Requirements to Technological Equipment and Automation Volumes when Designing and Arranging Facilities with the use of Minimally Manned Principles. Moscow, Gazprom Expo, 2016, 31 p. (In Russian)
2. GOST 20911–89. Technical Diagnostics. Terms and Definitions. Moscow, 2009. (In Russian)
3. GOST R MEK 61508-2–2007. Functional Safety of Electrical, Electronic, Programmable Electronic Safety-Related Systems. Part 2: Requirements for Systems. Moscow, Standartinform, 2008. (In Russian)
4. GOST R MEK 61508-2–2007. Functional Safety of Electrical, Electronic, Programmable Electronic Safety-Related Systems. Part 6: Guidelines on the Application of GOST R MEK 61508-2-2007 and GOST R MEK 508-3-2007. Moscow, Standartinform, 2008. (In Russian)
5. Detailed Documentation 19.020.00-KTN-073–07. Method for Inspecting and Assessing the Technical Condition of Automation Equipment at a Pump Station (Pipeline Operation Control Station, Oil Plant) and Tank Battery. Moscow, SC Transneft OJSC, 2007, 15 p. (In Russian)
6. Bogdanov E.A. Fundamentals of Oil and Gas Equipment Technical Diagnostics: Textbook for Higher Education Institutions. Moscow, Higher School, 2006, 279 p. (In Russian)
7. Detailed Documentation 51-4.2.-003–97. Guidelines on the Calculation of Main Pipeline Structural Reliability. Moscow, 1997. (In Russian)