

# ОСОБЕННОСТИ MESH-СЕТИ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА БАЗЕ МУЛЬТИСЕНСОРНЫХ СИСТЕМ

**Свердлова Анастасия Дмитриевна**

*м.н.с., аспирант отдела мониторинга и оптимизации теплофизических процессов Института технической теплофизики НАН Украины  
03057, Украина, г. Киев, ул. Марии Капнист (Желябова), 2А*

## FEATURES OF MESH-NETWORK FOR DIAGNOSING ENERGY EQUIPMENT ON THE BASIS OF MULTISENSOR SYSTEMS

**Sverdlova Anastasiya Dmitrievna**

*Research Assistant, Postgraduate Student in Department of monitoring and optimization of thermal processes of Institute of Engineering Thermophysics  
03057, Ukraine, Kyiv, Marii Kapnist (Zhelyabova), 2A*

### **Аннотация**

Разработан метод диагностики теплотехнического оборудования теплоэнергетических объектов, основанный на применении «умных сетей» Smart Grid. Создана структура многоуровневой системы диагностики теплотехнического оборудования, что характеризуется возможностью использования большого количества модульных сенсоров (первичных преобразователей). Разработан аппаратно-программный комплекс для реализации алгоритмов статистической обработки информационных сигналов, создания эталонных диагностических функций по результатам измерений с использованием методов неразрушающего контроля, принятия диагностических решений, оценки остаточного ресурса и планирования отказов на базе концепции «больших данных» Big Data и «облачных» технологий.

### **Abstract**

A diagnostic method has been developed for heat engineering equipment of heat and power facilities based on the using of Smart Grid. The structure of a multilevel diagnostic system for heat engineering equipment has been created, which is characterized by the possibility of using a large number of modular sensors (primary transducers). A hardware-software complex was developed for implementing algorithms for statistical processing of information signals, creating reference diagnostic functions based on measurement results using non-destructive testing methods, making diagnostic decisions, estimating residual resources and planning failures based on the Big Data concept and cloud technologies.

**Ключевые слова:** теплоэнергетическое оборудование, Smart Grid, диагностика, Big Data, сложные технические системы, mesh-сеть

**Keywords:** heat power equipment, Smart Grid, diagnostics, Big Data, complex technical systems, mesh network

Современный уровень развития аппаратных и программных средств обеспечивает возможность создания и ведения баз данных оперативной информации большой информационной емкости в различных сферах деятельности и на разных уровнях управления [1,2].

В настоящее время накоплены большие массивы диагностической информации, относящейся к функционированию энергетических объектов [3]. Применение новых технологий и методов аналитической обработки диагностических данных может позволить выявить новые закономерности и особенности в динамике состояния СТС, в частности определить предвестников чрезвычайных ситуаций [4]. Знание новыми знаниями о поведении СТС снижает степень неопределенности при управлении и позволяет принимать более обоснованные решения, снижающие риск возникновения чрезвычайных ситуаций [5, 6, 7, 8].

**Базовые методы интеллектуального анализа данных (ИАД).** В зависимости от использованных принципов работы с исходными учебными данным все методы ИАД разделяются на две большие группы [9, 10]. Две эти группы и параметры методов, входящих в их состав, представлены на рис. 1.

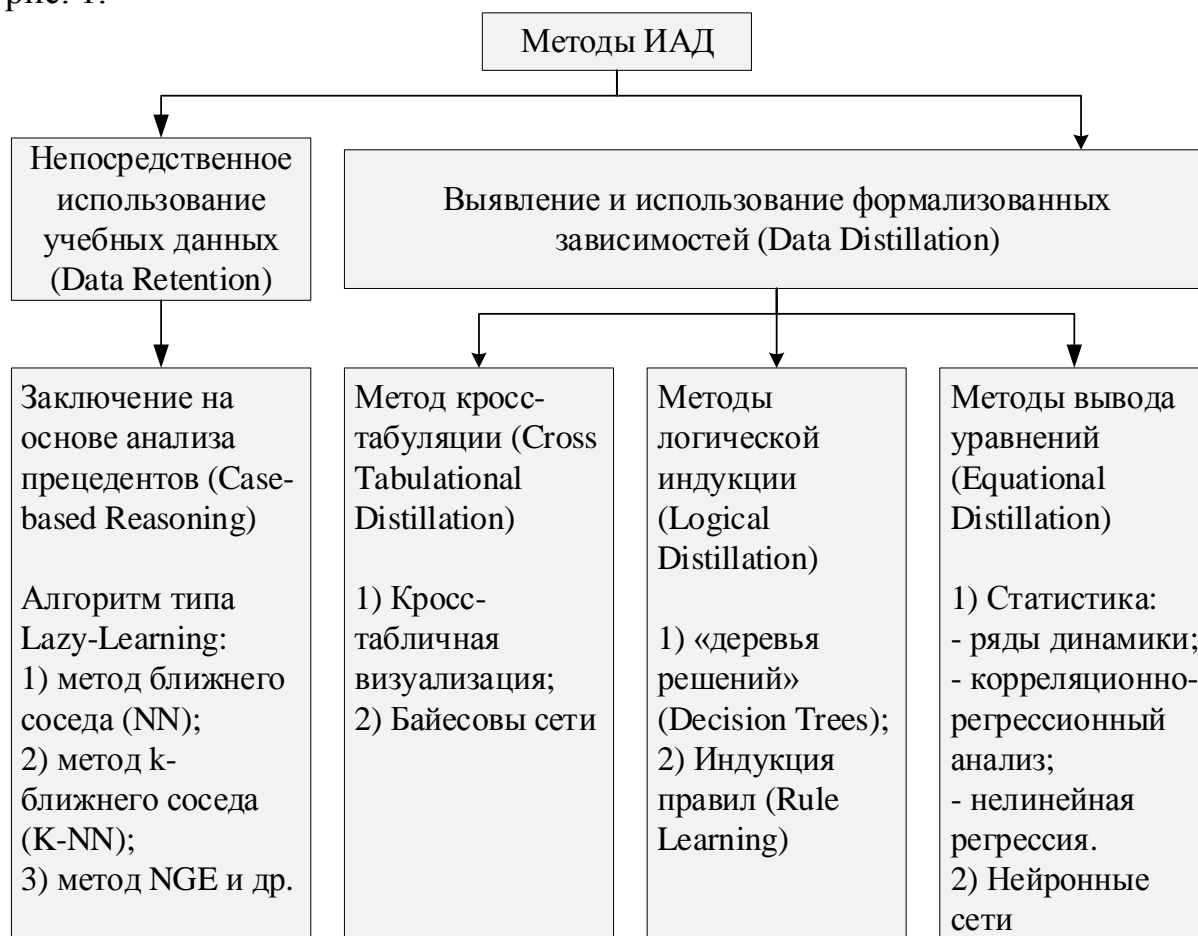


Рис. 1. Классификация технологических методов ИАД

Как видно из рис. 1, к базовым методам ИАД относят в первую очередь алгоритмы, основанные переборке. При этом для сокращения вычислительной сложности в таких алгоритмах, как правило, используют разного рода эвристики, приводящие к сокращению перебора [11]. Оптимизация подобных алгоритмов сводится к приведению зависимости количества операций от количества исследуемых данных в функции линейного вида. В то же время, зависимость от количества атрибутов, как правило, остается экспоненциальной. При условии, что их немного (в подавляющем большинстве случаев их значительно меньше, чем данных), такая зависимость является приемлемой [12, 13].

Основным преимуществом алгоритмов переборки является их простота, как с точки зрения понимания, так и реализации. К недостаткам можно отнести отсутствие формальной теории, на базе которой строятся такие алгоритмы, и, также сложности, связанные с их исследованием и развитием.

**Особенности применения mesh-сети для диагностики теплоэнергетического оборудования.** В существующих сетях стандарта 802.11 терминальные (абонентские оконечные) станции (STA) связаны с точками доступа (Access Point – AP) и могут взаимодействовать только с ними. AP имеют выход в другие сети (например, Ethernet), но не могут обмениваться информацией друг с другом. В mesh-сети, кроме терминальных станций и точек доступа, присутствуют специальные устройства – узлы mesh-сети (Mesh Point – MP), которые способны взаимодействовать друг с другом и поддерживают mesh-службы [14]. Одно устройство может совмещать несколько функций. Так, узлы mesh-сети в сочетании с точками доступа, называются точками доступа mesh-сети (Mesh Access Point, MAP). Порталы mesh-сети (Mesh Point Portal, MPP), будучи MP, соединяют mesh-сеть с внешними сетями. Таким образом, mesh-сеть с точки зрения других устройств и протоколов более высокого уровня функционально эквивалентна широкополосной Ethernet-сети, все узлы которой непосредственно соединены на канальном уровне.

Структура пакетов MAC-уровня в mesh-сети аналогична стандартному формату пакетов сетей 802.11. Формат заголовка MAC-пакета в mesh-сети полностью соответствует MAC-заголовку пакета данных, определенного в стандарте IEEE 802.11 за исключением поля HT Control (High Throughput Control), предназначенного для поддержки оборудования стандарта IEEE 802.11n. Первые три поля заголовка и поле контрольной суммы FCS присутствуют во всех пакетах MAC-уровня.

Отличие MAC-пакетов 802.11s заключается в наличии mesh-заголовка в начале поля данных. Этот заголовок присутствует в пакетах данных тогда и только тогда, когда они передаются от mesh-узла к mesh-узлу по установленному между ними соединению, он так же присоединяется к одному из типов (MultiHop Action) управляющих пакетов.

В общем преимущества mesh-сети по сравнению с традиционной WLAN-сетью приведены в табл. 1.

Сравнение традиционной WLAN-сети и Mesh-сети

	WLAN-сеть	Mesh-сеть
Предназначение	Спроектированы для использования внутри зданий и покрывают территорию зданий или небольшие открытые пространства	Спроектированные для покрытия больших открытых территорий, главным образом в местах отсутствия LAN
Структура	Кабельные линии передачи, построенные по топологии «звезда» или хаб	Беспроводные линии передачи, построенные на базе соединения типа «точка-точка» между точками доступа
Преимущества	Не требуют отдельных источников питания; простота и дешевизна внедрения; по-новому используют структуру LAN	Простота установки; разрешается разворачивать сети вне зданий; не требуют наличия инфраструктуры LAN

**Установка и управления связями в IEEE 802.11s.** Совместимость устройств от разных производителей в одной сети обеспечивает концепцию профилей. Профиль содержит собственно идентификатор профиля, идентификатор протокола маршрутизации и идентификатор метрики протокола маршрутизации. Устройство поддерживает несколько профилей работы, но только один из них может быть активным. Обязательный для всех устройств стандарта 802.11s профиль использует гибридный беспроводной mesh-протокол маршрутизации (HWMP, Hybrid Wireless Mesh Protocol) и метрику времени передачи в канале (Airtime Link Metric).

На рис. 2 отражена функциональная схема взаимосвязей измерительных модулей в системе диагностирования состояния теплоэнергетического оборудования на базе mesh-сети.

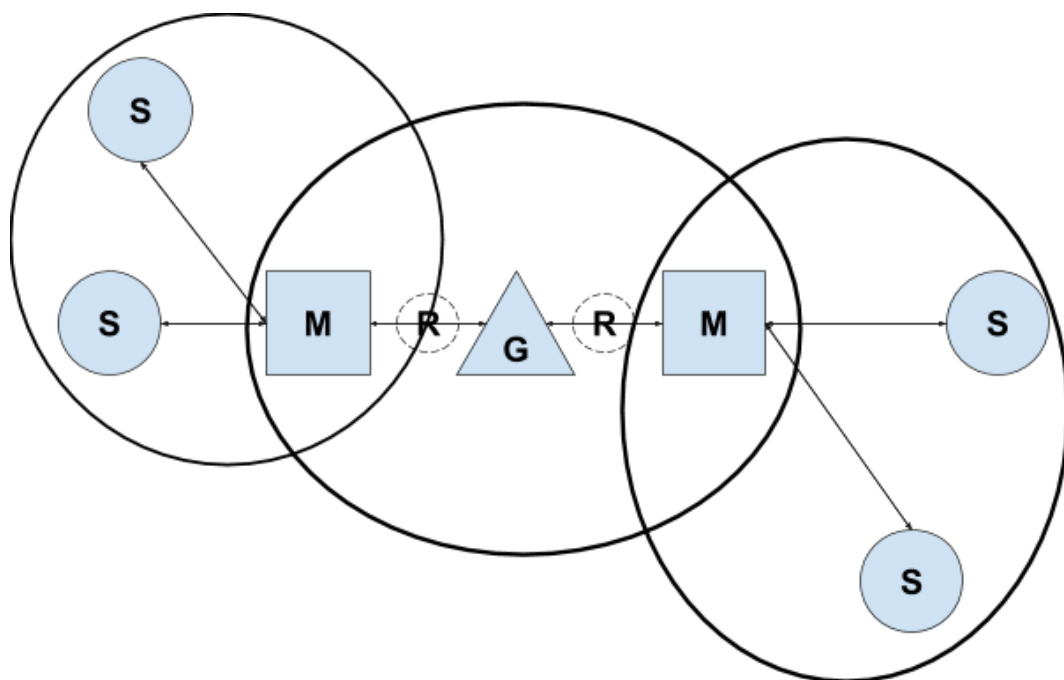


Рис. 2. Функциональная схема взаимосвязи измерительных модулей системы диагностирования оборудования СТС  
*(S – slave-модуль; M – master-модуль (все модули в радиусе G); G – GSM receiver – главный модуль с GSM-передатчиком, R – приемник)*

Механизм установки соединений основан на периодической посылке стандартного сообщения "открыть соединение". В ответ на него может быть получено сообщение "подтверждение соединения" или "закрытие соединения". Соединение между двумя соседними МР считается установленным тогда и только тогда, когда оба МР послали друг другу команды "открыть соединение" и ответили подтверждением соединения (в любой последовательности). Для каждого установленного соединения предусмотрено время жизни, в течение которого оно должно быть использовано или подтверждено.

**Энергосбережение в IEEE 802.11s.** Режим энергосбережения в mesh-сетях является опциональным. Так, МАР-узлы всегда активны, поскольку в любой момент к ним могут обратиться устройства, которые не поддерживают 802.11s и соответствующий режим энергосбережения. Однако для устройств с автономным питанием (разного рода датчики, ноутбуки, телефоны и т.п.) энергосбережение – актуальная задача.

Узлы сети обязаны сообщать о своей способности поддерживать спящий (энергосберегающий) режим. Для этого используется информационное поле возможностей (information field) в биконе и в ответах на пробные пакеты [15]. В этом же поле сообщается, что узел находится в режиме энергосбережения или имеет связь с узлом, который находится в этом режиме.

Если устройство, которое хочет работать в режиме энергосбережения, видит, что его сосед не поддерживает эту возможность, то оно может или

не устанавливая соединения с таким устройством, или установить его, но отказаться от перехода в режим энергосбережения [16]. Узел не может переходить из активного режима в режим энергосбережения (и обратно), пока не проинформирует все устройства, с которыми у него установлено соединение, о своем желании переключиться. Для информирования «соседей» об изменении режима энергосбережения используются пустые пакеты данных (null-data frame).

Спящие узлы могут проснуться в любой момент времени, если у них в очереди оказывается пакет на передачу. В этом случае такой узел остается спать, в крайнем случае, до следующего момента времени ТВТТ. Режим энергосбережения отличается для синхронных и асинхронных МР. Так, асинхронные МР используют свои собственные значения АТІМ и ДТІМ, а все узлы, с которыми они установили соединение, сохраняют эти параметры для дальнейшей работы.

Синхронные же МР, присоединяясь к сети, используют общие АТІМ и ДТІМ значения, которые они получают в биконе от соседей, в этом случае все спящие устройства в сети будут просыпаться одновременно.

Ниже приведен фрагмент кода программы МР.

```
lowestNode = rxNodeNum; // update with the new current lowest node number  
mytime = (unsigned long) millis();  
rxCentralTime = rxNodeTime; // convert back to a number  
rxCentralTime = rxCentralTime + 250; // offset to allow for delay with transmission, determined by trial and error, if slow, then add more  
timeOffset = rxCentralTime - mytime;  
lnprintlcd("New ");  
displayTime();
```

### **Список литературы:**

1. Апаратно-програмне забезпечення моніторингу об'єктів генерування, транспортування та споживання теплової енергії: Монографія / В.П. Бабак, В.С. Берегун та ін.; за ред. чл.-кор. НАН України В.П. Бабака / - К., Ін-т технічної теплофізики НАН України, 2016. – 352 с.
2. Теоретичні та прикладні основи економічного, екологічного та технологічного функціонування об'єктів енергетики / [В. О. Артемчук, Т. Р. Білан, І. В. Блінов та ін.; за ред. А. О. Запорожця, Т. Р. Білан]. – Київ, 2017. – 312 с.
3. Zaporozhets A. Methods and Hardware for Diagnosing Thermal Power Equipment Based on Smart Grid Technology / Advances in Intelligent Systems and Computing III. – 2019. – vol. 871. – pp. 476-489. doi: 10.1007/978-3-030-01069-0\_34
4. Запорожец А. А. Особенности применения технологии Smart Grid в системах мониторинга и диагностирования теплоэнергетических объектов / А. А. Запорожец, А. Д. Свердлова // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2017. – №2. – С. 33-41. Doi: doi: 10.15407/tdnk2017.02.05

5. Бабак В. П. Анализ методов диагностирования технического состояния магистральных теплосетей / В. П. Бабак, А. А. Запорожец, С. И. Ковтун, Р. В. Сергиенко / *The Scientific Heritage*. – 2017. – №14. – С. 59-66.
6. Бабак В.П. Влияние метеорологических параметров на оптимизацию процесса горения / В.П. Бабак, А.А. Запорожец, А.А. Редько // *Научные известия НТСМ*. – 2015. – № 2. – Т. 165. – С. 361-364.
7. Запорожець А.О. Дослідження стехіометричної суміші «повітря-паливо» органічних сполук. Частина 2. Алкени, алкіни / А.О. Запорожець // *Наукоємні технології*. – 2014. – Т. 24. – №4. – С. 393-399. Doi: 10.18372/2310-5461.24.7506
8. Запорожець А. О. Аналіз засобів моніторингу забруднення повітря навколишнього середовища / А. О. Запорожець // *Наукоємні технології*. – 2017 – Т. 35. – №3. – С. 242-252. Doi: 10.18372/2310-5461.35.11844
9. Запорожець А. О. Аналіз методів діагностування теплоенергетичних об'єктів / А. О. Запорожець, А. Д. Свердлова // *Наукоємні технології*. – 2017. – Т. 35. – №3. – С. 259-265. doi: 10.18372/2310-5461.35.11846
10. Babak, V.P. Improving the efficiency of fuel combustion with regard to the uncertainty of measuring oxygen concentration / V.P. Babak, V.M. Mokiychuk, A.A. Zaporozhets, A.A. Redko // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2016. – Vol. 6. – №8 (84). – P. 54-59. doi: 10.15587/1729-4061.2016.85408
11. Zaporozhets A. Methods and means of heat losses monitoring for heat pipelines / V. Babak, A. Zaporozhets, S. Kovtun, R. Serhiienko // *International Journal “NDT Days”*. – 2018. – № 2. – Vol. 1. – P. 213-221.
12. Бабак В. П. Технологія Smart Grid в системах моніторингу об'єктів теплоенергетики / В. П. Бабак, А. О. Запорожець, А. Д. Свердлова // *Промышленная теплотехника*. – 2016. – №6. – Т. 38. – С. 71-81. doi: 10.31472/ihe.6.2016.10
13. Запорожець А.О. Система якості горіння повітряно-паливної суміші в котлоагрегатах малої та середньої потужності / В.П. Бабак, А.О. Запорожець // *Методи та прилади контролю якості*. – 2014. – №2(33). – С. 106-114.
14. Запорожець А.О. Підвищення точності вимірювання коефіцієнта надлишку повітря в котлоагрегатах із застосуванням газоаналізаторів електрохімічного типу / В.П. Бабак, А.О. Запорожець, О.О. Редько // *Промышленная теплотехника*. – 2015. – Т. 37. – №1. – С. 82-96. doi: 10.31472/ihe.1.2015.10
15. Babak S. Method of Statistical Spline Functions for Solving Problems of Data Approximation and Prediction of Objects State / S. Babak, V. Babak, A. Zaporozhets, A. Sverdlova // [Electronic resource] // *Proceedings of the Second International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2019)*, Zaporizhzhia, Ukraine, April 15-19, 2019 / [eds.: D. Luengo, S. Subbotin, P. Arras, et al]. – P. 810-821. – (CEUR Workshop Proceedings, Vol. 2353). – Access mode: <http://ceur-ws.org/Vol-2353/paper64.pdf>
16. Свердлова А.Д. Разработка многоуровневой системы диагностики теплотехнического оборудования / А.Д. Свердлова, А.А. Запорожец, А.А. Редько // *Мультидисциплинарный научный журнал «Архивариус»*. – 2016. – № 13. – Т.1. – С. 89-94.