

## Энергообеспечение мониторинга параметров системы тягового электроснабжения

*В.Г. Лысенко, О.В. Кубкина*

*Ростовский государственный университет путей сообщения*

**Аннотация:** Имеющая место в настоящее время тенденция усложнения режимов работы системы тягового электроснабжения, увеличение размеров ущербов от событий, приводящих к простоям поездов, необходимость повышения эффективности эксплуатации, актуализирует задачу применения систем мониторинга. Особенности системы тягового электроснабжения определяют требования к организации мониторинга параметров в режиме реального времени. Одним из основных является требование обеспечения автономной работы устройств (систем) мониторинга в течении заданного периода времени. На примере контроля процесса гололедообразования на контактной сети, с учетом специфики возмущающих воздействий окружающей среды, предлагаются основные принципы построения системы мониторинга, структура технических средств, многорежимный алгоритм функционирования, методика расчета параметров источника питания.

**Ключевые слова:** система электроснабжения, контактная сеть, мониторинг, обнаружение гололеда, автоматизация.

Система тягового электроснабжения относится к сложным объектам контроля и управления [1, 2], обладающим следующими основными особенностями с точки зрения мониторинга:

- большое количество элементов (параметров), подлежащих контролю, взаимосвязанных между собой;
- рассредоточенность в пространстве;
- наличие режимов работы, характеризующихся значительно отличающимися параметрами;
- высокая функциональная ответственность;
- подверженность возмущающим воздействиям окружающей среды, нарушающим алгоритм функционирования системы.

Эффективная эксплуатация системы тягового электроснабжения, в современных условиях, невозможна без применения мониторинга в режиме реального времени. Вопросам разработки и применения встроенных систем контроля и диагностирования посвящено значительное число работ [3-5] и

---

ряд руководящих документов ОАО «РЖД» (Стратегия научно-технического развития холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 года и перспективу до 2025 года «Белая книга»).

Кроме того, спектр устройств (систем), реализующих контроль и диагностирование оборудования и режимов работы трансформаторных подстанций и постов секционирования достаточно широк и не подлежит рассмотрению в данной статье. Вместе с тем, мониторинг параметров основного, не резервированного элемента системы тягового электроснабжения – контактной сети, реализуется, в значительной степени, с помощью устройств (систем), входящих в состав вагона – лаборатории, либо применяемых вручную. Такой контроль носит периодический характер со всеми вытекающими из этого факта последствиями [6, 7].

Необходимость применения автономных устройств (систем) мониторинга, интегрированных в контактную подвеску и обеспечивающих контроль требуемых параметров в режиме реального времени, очевидна [8, 9]. Разработка таких устройств (систем) требует, в первую очередь, решения задачи энергообеспечения. Задача комплексная, ее решение подразумевает анализ связей между особенностями объекта контроля, свойствами контролируемых параметров, особенностями возмущающих воздействий окружающей среды [10]. Целью такого анализа является разработка методики определения технических характеристик источника питания, обеспечивающего автономное энергообеспечение устройства (системы) мониторинга в течении заданного периода времени.

Рассмотрим основные, по мнению авторов, вопросы, относящиеся к поставленной задаче и определяющие основные требования к автономному энергообеспечению на примере устройства (системы) мониторинга гололедообразования на контактной сети.

---

1. Интегрированность устройства (системы) в контактную подвеску предопределяет соответствующие требования к массе и уровню защищенности системы энергообеспечения.

2. Значительное число возмущающих воздействий на контактную подвеску носит сезонный характер. Как следствие, мониторинг значительного числа параметров необходимо осуществлять в периоды времени, определяемые фактом существования и значениями характеристических параметров окружающей среды.

3. Рассредоточенность объекта контроля предполагает установку устройств (систем) мониторинга в местах, обеспечивающих максимальную эффективность контроля. Как следствие, невозможность использования стационарных источников питания.

Пункты 2 и 3 позволяют сформулировать следующие требования к устройству (системе) мониторинга:

- автономность энергообеспечения в течении заданного периода времени;
- необходимость реализации «интеллектуальной» многорежимности энергообеспечения, определяемой сезоном и параметрами окружающей среды;
- обеспечение заданных параметров энергообеспечения.

В соответствии с вышеизложенным, предлагается обобщенная структура интегрированной автономной системы мониторинга (рис. 1)

Программируемый логический контроллер малого энергопотребления обеспечивает:

- обработку и регистрацию параметров состояния окружающей среды и объекта;
  - реализацию прикладных и специальных процессов (приложений);
-

- осуществляет адаптивное управление цепями управления и питания посредством коммутатора;
- поддержку интерфейса со смежными устройствами (системами) мониторинга и с системами других уровней контроля и управления.

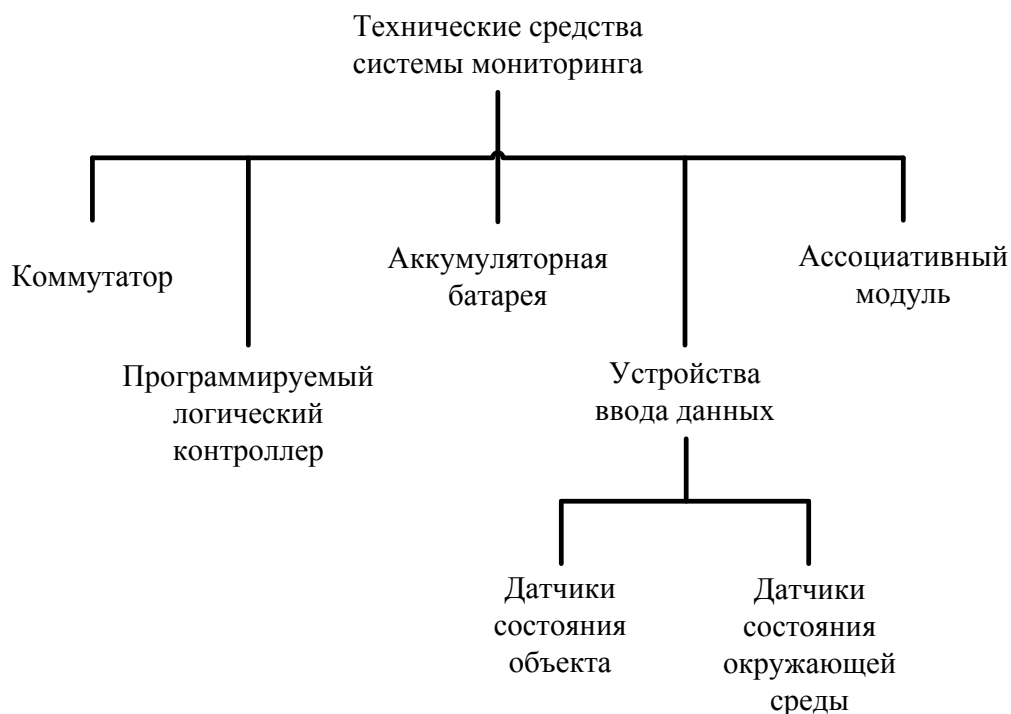


Рис.1. – Структура технических средств устройства (системы) мониторинга

Функциональный состав датчиков определяется составом прикладных процессов (приложений) пользователя. В качестве ассоциативной системы могут быть использованы модули GSM или спутниковой связи, радио МОДЕМ.

Исходя из вышеизложенного, предлагается многорежимное функционирование устройства (системы) мониторинга, определяемое общим алгоритмом работы, обеспечивающим реализацию всех видов прикладных процессов при минимальном потреблении энергии.

Основным критерием определения соответствующего режима работы является уровень энергопотребления и состав реализуемых функций. Рассмотрим эти режимы:

1 – «спящий» режим. Этот режим характеризуется минимальным уровнем энергопотребления. Потребляющие компоненты: программируемый логический контроллер (минимальное энергопотребление), датчики контроля характеристических параметров окружающей среды (номинальное энергопотребление). Характеристическими являются параметры, значение которых определяет целесообразность (необходимость) мониторинга. Время программной обработки режима ( $V_{\text{ПО1}}$ ) определяется требованиями к реальному времени режима.

2 – режим «периодической активности». Период инициализации режима ( $P_{\text{И2}}$ ) определяется требованиями к режиму реального времени устройства (системы) мониторинга. Время программной обработки режима ( $V_{\text{ПО2}}$ ) определяется рабочей частотой программируемого логического контроллера и параметрами устройств ввода данных. Потребляющие компоненты: программируемый логический контроллер, датчики контроля характеристических параметров окружающей среды (номинальное энергопотребление).

3 – режим «активный с передачей данных». Период инициализации режима ( $P_{\text{И3}}$ ) определяется числом инициализаций второго режима ( $S_{\text{И2}} = 3 - 6$ ), задаваемым при настройке устройства (системы) мониторинга. Потребляющие компоненты: программируемый логический контроллер, датчики контроля характеристических параметров окружающей среды (номинальное энергопотребление), ассоциативный модуль в режиме передачи данных. Время обработки режима ( $V_{\text{ПО3}}$ ) определяется рабочей частотой программируемого логического контроллера, параметрами устройств ввода данных, режимом работы коммуникационной сети, объемом

---

передаваемых данных. Этот режим может быть использован для передачи данных самодиагностирования устройства (системы) мониторинга.

4 – режим «мониторинг». Режим инициируется спорадически, при регистрации характеристических значений параметров окружающей среды. Время программной обработки режима ( $V_{\text{ПО1}}$ ) сокращается, в соответствии с требованиями к реальному времени. Потребляющие компоненты: программируемый логический контроллер, датчики контроля характеристических параметров окружающей среды, датчики контроля состояния объекта (номинальное энергопотребление). Время обработки режима ( $V_{\text{ПО4}}$ ) определяется рабочей частотой программируемого логического контроллера, параметрами устройств ввода данных. Длительность режима ( $D_4$ ) определяется параметрами окружающей среды района эксплуатации.

5 – режим «мониторинг с передачей данных». Период инициализации режима ( $P_{\text{И5}}$ ) определяется числом инициализаций четвертого режима ( $S_{\text{И4}} = 3 - 6$ ). Потребляющие компоненты: программируемый логический контроллер, датчики контроля характеристических параметров окружающей среды, датчики контроля состояния объекта (номинальное энергопотребление), ассоциативный модуль в режиме передачи данных. Время программной обработки режима ( $V_{\text{ПО5}}$ ) определяется рабочей частотой программируемого логического контроллера, параметрами устройств ввода данных, параметрами коммуникационной сети. Осуществляется передача информации о «предгололедной» ситуации на контролируемом участке.

6 – режим «активного мониторинга». Условиями инициализации режима является обнуление  $S_{\text{И4}}$  (счетчик числа инициализаций 4-го режима) и срабатывание одного из датчиков состояния объекта, свидетельствующее об образовании гололеда. Период инициализации режима ( $P_{\text{И6}}$ ) определяется числом инициализаций четвертого режима ( $S_{\text{И4}} = 3 - 6$ ). Потребляющие

---

компоненты: программируемый логический контроллер, датчики контроля характеристических параметров окружающей среды, датчики контроля состояния объекта (номинальное энергопотребление), ассоциативный модуль в режиме передачи данных. Длительность режима ( $D_6$ ) определяется параметрами окружающей среды района эксплуатации как среднестатистическое значение. Время программной обработки режима ( $V_{\text{ПОб}}$ ) определяется рабочей частотой программируемого логического контроллера, параметрами устройств ввода данных, параметрами коммуникационной сети.

В основе определения искомых характеристик аккумуляторной батареи лежит расчет времени нахождения устройства (системы) мониторинга в каждом из перечисленных режимов работы и учет параметров технических средств, входящих в состав устройства (системы).

Примем следующие обозначения:

$D_{\text{ГО}}$  (час.) – время вероятного образования гололеда (определяется параметрами окружающей среды района эксплуатации);

$D_{\text{Х}}$  (час.) – время наличия характеристических значений параметров окружающей среды;

$D_{\text{Г}}$  (час.) – время возмущающих воздействий на объект ((определяется параметрами окружающей среды района эксплуатации);

$D_i$  (час.) – время нахождения устройства (системы) мониторинга в  $i$ -ом режиме работы;

$k_i$  – коэффициент инициализации  $i$ -го режима, равен числу инициализаций базового (определяющего инициализацию  $i$ -го) режима работы;

$V_i$  (час.) – время обработки  $i$ -го режима;

$D_{1\text{Г}}$  (час.) – время нахождения устройства (системы) мониторинга в первом режиме в течении  $D_{\text{Г}}$ ;

---

$D_{1DГ}$  (час.) – время нахождения устройства (системы) мониторинга в первом режиме в течении  $D_X$ ;

$D_{1ГО}$  (час.) – время нахождения устройства (системы) мониторинга в первом режиме в течении  $D_{ГО}$

Тогда:

$$D_2 = \frac{D_{ГО} - D_X}{(V_1 + V_2)k_2} k_2 V_2 \quad (1);$$

$$D_3 = \frac{D_{ГО} - D_X}{(V_1 + V_2)k_2} V_2 \quad (2);$$

$$D_4 = \frac{D_{ГО} - D_{Г}}{(V_1 + V_4)k_4 + V_5} k_4 V_4 \quad (3);$$

$$D_5 = \frac{D_{ГО} - D_{Г}}{(V_1 + V_4)k_4 + V_5} V_4 \quad (4);$$

$$D_1 = D_{1Г} + D_{1DГ} + D_{1ГГ} \quad (5);$$

$$D_{1Г} = D_{Г} - D_6 \quad (6);$$

$$D_{1DГ} = D_X - D_6 - D_4 - D_5 \quad (7);$$

$$D_{1ГО} = D_{ГО} - D_X - D_2 - D_3 \quad (8).$$

Приведенные зависимости позволяют рассчитать параметры и выбрать требуемый тип источника питания, обеспечивающего автономное функционирование интегрированного устройства (системы) мониторинга контактной сети, в соответствии с предъявляемыми требованиями.

### Литература

1. Трубицин М. А., Лукашевич О. Г. Проблема гололеда на проводах воздушных линий системы электроснабжения железнодорожного транспорта





// Инженерный вестник Дона, 2017, №4. URL:  
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4582

2. Жарков Ю. И., Кубкина О. В., Лысенко В. Г., Попова Н. А. Комплексное решение прикладных технологических задач автоматизации тягового электроснабжения // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения, 2021, № 1 (81). С. 130 – 139.

3. Рыбаков Л.М., Ласточкин С.В. Создание информационно-измерительной системы для оценки текущего состояния элементов и оборудования сельских распределительных сетей с напряжением 10 кВ // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии, 2019, № 3 (10). С. 104 – 108.

4. Styskala V., Kolosov D. V., Zharkov Y. I., Semenov Y. G. The operation principles and implementation of automated system for arc disturbances control for AC and DC electrified railway lines //16th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE), Kouty nad Desnou, Czech Republic, 2015. pp. 606-609

5. Лысенко В. Г., Кубкина О. В. Мониторинг гололедно-изморозевых образований на контактной сети переменного тока // Инженерный вестник Дона, 2021, №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6966

6. Кабашов В.Ю., Андрианова Л.П. Повышение эксплуатационной надежности воздушных линий 10 (6) кВ при воздействии неблагоприятных климатических факторов // Международный технико–экономический журнал, 2019, № 3. С. 48–54.

7. Figurnov E.P., Kharchevnikov V.I. Experiments on Heating Uninsulated Wires of Overhead Transmission Lines. Power Technol Eng 51, 2017, pp. 119–124 URL: doi.org/10.1007/s10749-017-0796-x



8. Кубкина О. В., Лысенко В. Г. Перспективы автоматизации электрических методов борьбы с гололедом // Инженерный вестник Дона, 2022, №6. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2022/7755](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2022/7755)

9. Доманский В.В., Доманская Г.А., Васенко В.А. Информационные технологии режимов работы тягового электроснабжения и питающих их систем // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения, 2021, №3 (79). С. 154–165.

10. Гледко Ю.А., Бережкова Е.С. Анализ метеорологической обстановки в условиях обледенения и гололеда // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология, 2020, № 2. С. 14–25.

### References

1. Trubicin M. A., Lukashevich O. G., Inzhenernyj vestnik Dona. 2017. №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4582](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4582)

2. Zharkov Ju. I., Kubkina O. V., Lysenko V. G., Popova N. A, Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshhenija. 2021. № 1 (81). pp. 130 – 139

3. Rybakov L.M., Lastochkin S.V. Vestnik Chuvashskoj gosudarstvennoj selskohozjajstvennoj akademii. 2019. № 3 (10). pp. 104 – 108

4. V. Styskala, D. V. Kolosov, Y. I. Zharkov and Y. G. Semenov. The operation principles and implementation of automated system for arc disturbances control for AC and DC electrified railway lines. 16th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE). Kouty nad Desnou, Czech Republic, 2015, pp. 606–609

5. Lysenko V. G., Kubkina O. V., Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. №5. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6966](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6966)

6. Kabashov V.Ju., Andrianova L.P., Mezhdunarodnyj tehniko–jekonomicheskij zhurnal. 2019. № 3. pp. 48–54.



7. Figurnov E.P., Kharchevnikov V.I. Experiments on Heating Uninsulated Wires of Overhead Transmission Lines. Power Technol Eng 51, 2017, pp. 119–124  
URL: [doi.org/10.1007/s10749-017-0796-x](https://doi.org/10.1007/s10749-017-0796-x)

8. Lysenko V. G., Kubkina O. V., Inzhenernyj vestnik Dona. 2022. №6.  
URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2022/7755](https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2022/7755)

9. Domanskij V.V., Domanskaja G.A., Vasenko V.A. Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshhenija. 2021. №3 (79). pp. 154–165.

10. Gledko Ju.A., Berezhkova E.S. Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Geografija. Geologija. 2020. № 2. pp. 14–25.