

18. Boyarshinova, A.K. Teoriya inzhenerenogo eksperimenta [Theory of engineering experiment]: text of lectures / A.K. Boyarshinova, A.S. Fisher. - Chelyabinsk: YURGU, 2006. - 85 p.

#### Информация об авторах

**Смердин Александр Николаевич** – д. т. н., доцент, профессор кафедры «Электроснабжение железнодорожного транспорта», Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск, e-mail: alexandr.smerdin@omgups.com

**Бутенко Елена Александровна** – аспирантка кафедры «Электроснабжение железнодорожного транспорта», Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск e-mail: butenkoelena1994@gmail.com

**Тарасенко Александр Владимирович** – к. т. н., доцент, доцент кафедры «Электроснабжение железнодорожного транспорта», Омский государственный университет путей сообщения, г. Омск, e-mail: alessandro-tar@yandex.ru

#### Information about the authors

**Alexandr N. Smerdin** – Doctor of Technical Science, Professor of the department «Electricity supply of railway transport», Omsk State Transport University, Omsk, e-mail: alexandr.smerdin@omgups.com

**Elena A. Butenko** – Post-graduate student «Electricity supply of railway transport», Omsk State Transport University, Omsk, e-mail: butenkoelena1994@gmail.com

**Alexandr V. Tarasenko** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the department «Electricity supply of railway transport», Omsk State Transport University, Omsk, e-mail: alessandro-tar@yandex.ru

DOI 10.26731/1813-9108.2021.1(69).215-222

УДК 629.423

## Система непрерывного контроля уровня смазки в запасной камере буксы моторно-осевого подшипника электровоза

Д. А. Яговкин, О. В. Мельниченко, А. О. Линьков, С. Г. Шрамко✉

*Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская федерация*

✉ novorossereg@mail.ru

#### Резюме

В статье описывается принцип работы буксы моторно-осевого подшипника электровоза, недостатки текущих способов обслуживания, влияющие на ее ресурс. В настоящее время при определении уровня смазки в буксе моторно-осевого подшипника, учитывают уровень смазки только в рабочей камере буксы, объем оставшейся смазки в запасной камере буксы не берется в расчет, что приводит к недостоверным данным о ее количестве, и не позволяет прогнозировать остаточный ресурс буксы моторно-осевого подшипника. Предлагается система непрерывного контроля смазки в запасной камере буксы, реализуемая путем установки в нее датчика, а также блока управления в кабину машиниста. Такая система позволяет обеспечить постоянный контроль уровня масла в запасной камере и своевременно информировать машиниста путем световой индикации и специалистов сервисных локомотивных депо путем беспроводной передачи данных о критическом уровне смазки на сервер. Таким образом, обслуживающий персонал получает всю необходимую информацию о состоянии буксы моторно-осевого подшипника еще до захода электровоза в депо, что дает возможность принять соответствующие меры, запланировать обслуживание электровоза и предупредить риски, связанные с unplanned отказами. Данное решение позволит не только сократить количество отказов в работе моторно-осевого подшипника, но и отследить расход смазки на протяжении всего времени эксплуатации электровоза.

#### Ключевые слова

электровоз переменного тока, букса моторно-осевого подшипника, осевая смазка, алгоритм работы, датчик уровня

#### Для цитирования

Яговкин Д. А. Система непрерывного контроля уровня смазки в запасной камере буксы моторно-осевого подшипника электровоза / Д. А. Яговкин, О. В. Мельниченко, А. О. Линьков, С. Г. Шрамко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2021. – № 1 (69). – С. 215–222. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.1(69).215-222

#### Информация о статье

поступила в редакцию: 11.12.2020, поступила после рецензирования: 16.12.2020, принята к публикации: 08.01.2021

## The continuous grease level control system in the backup chamber of the motor-axle bearing box of electric locomotives

D. A. Yagovkin, O. V. Melnichenko, A. O. Linkov, S. G. Shramko✉

*Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation*

✉ novorossereg@mail.ru

#### Abstract

The article describes the operation principle of the electric locomotive motor-axle bearing box, and the shortcomings of the cur-

rent maintenance methods that affect its resource. Currently, when determining the grease level in the motor-axle bearing box, the grease level is taken into account only in the box working chamber, the volume of the remaining grease in the box backup chamber is not taken into account, which leads to inaccurate data on its amount, and does not allow predicting the residual life of the motor-axle bearing box. A system of continuous control of grease in the box backup chamber is proposed, implemented by installing a sensor in it, as well as a control unit in the driver's cab. Such a system makes it possible to constantly monitor the oil level in the backup chamber and timely informing the driver by means of light indication and specialists of the service locomotive depots by wireless transmission of data on the critical level of lubrication to the server. Thus, the maintenance personnel receive all the necessary information about the state of the motor-axle bearing box even before the electric locomotive enters the depot, which makes it possible to take appropriate measures, schedule the maintenance of the electric locomotive and prevent the risks associated with unplanned failures. This solution will allow one not only to reduce the number of failures in the operation of the motor-axle bearing, but also to track the grease consumption throughout the entire operation time of the electric locomotive.

### Keywords

electric AC traction transformer, motor-axle bearing box, axial lubrication, operation algorithm, level sensor

### For citation

Yagovkin D. A., Mel'nichenko O. V., Lin'kov A. O., Shramko S. G. Sistema nepreryvnogo kontrolya urovnya smazki v zapasnoi kamere buksy motorno-osevogo podshipnika elektrovoza [The continuous grease level control system in the backup chamber of the motor-axle bearing box of electric locomotives]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2021, No. 1 (69), pp. 215–222. – DOI: 10.26731/1813-9108.2021.1(69).215-222

### Article Info

Received: 11.12.2020, Revised: 16.12.2020, Accepted: 08.01.2021

### Введение

Моторно-осевой подшипник (МОП) одна из наиболее важных частей колесно-моторного блока (КМБ) железнодорожного транспорта. Является одним из динамически нагруженных узлов трения, от которого зависит эксплуатационная надежность, объем технического обслуживания, ремонт КМБ и колесной пары локомотива [1].

Для длительной и надежной работы МОП необходимы хорошие условия смазки, так как главной причиной отказа в работе МОП является неудовлетворительная подача смазки в зону трения, которая влечет за собой ряд неисправностей моторно-осевых подшипников. К таким неисправностям можно отнести: нагрев букс, подгар кос, подгар баббита, отсутствие смазки.

В данной статье предлагается система непрерывного контроля смазки в запасной камере буксы МОП, которая обеспечит постоянный контроль уровня масла и позволит не только сократить количество отказов в работе МОП, но и отследить расход смазки на протяжении всего времени работы электроваза.

### Анализ конструкции и работы моторно-осевых подшипников

Стандартный МОП представляет собой подшипник скольжения, а также буксовый узел, в который заливается смазка для обеспечения наименьшего трения с осью колесной пары (рис. 1).

В значительной степени МОП влияют на надежность работы всего локомотива, их простой в ремонте и затраты на него.

Вкладыш выполнен из двух бронзовых половин, залитых баббитом Б16 толщиной 3 мм по диаметру  $205,45+0,09$  мм с внутренней части. Торцевая по-

верхность вкладыша имеет бурт, который необходим для ограничения разбега тягового электродвигателя (ТЭД) на оси колесной пары, в нижней части вкладыша выполнена шпоночная канавка. Шпонка необходима для установки в горловину остова ТЭД для исключения проворота вкладыша. Первая половина вкладыша размещена в горловине прилива остова, вторая в горловине шапки. По шерстяной подбивке через окно горловины смазка поступает к шейке оси. Букса выполнена из стального литья и соединена с остовом специальным замком, а также закреплена четырьмя болтами диаметром М36. Внутренний объем буксы разделяется с помощью перегородок на три камеры: рабочую, запасную и камеру для кос (подбивочная камера). Через перепускную трубку рабочая и запасная камера соединяются.

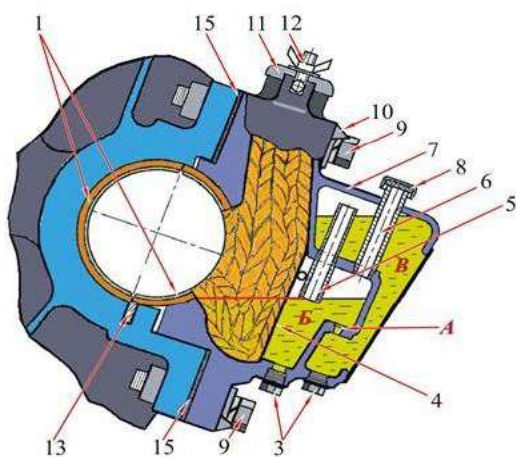


Рис. 1. Узел моторно-осевого подшипника электроваза

**Fig. 1.** Assembly of the motor-axial bearing of the electric locomotive

### Конструкция и принцип работы моторно-осевого подшипника электровоза

МОП состоит из вкладыша и буксы (шапки) (рис. 2).



**Рис. 2.** Конструкция узла моторно-осевого подшипника:

- 1 – латунные вкладыши с баббитовой заливкой; 2 – косы из шерстяной пряжи; 3 – сливные пробки; 4 – сетка; 5 – перепускная трубка; 6 – заправочная трубка; 7 – корпус буксы моторно-осевого подшипника; 8 – крышка заправочной горловины; 9 – болт крепления буксы; 10 – стопорная планка; 11 – крышка буксы моторно-осевого подшипника; 12 – барашек крышки; 13 – шпонка; 14 – окно вкладыша; 15 – стальная регулировочная прокладка; А – конусообразное отверстие; В – рабочая камера; В – запасная камера

**Fig. 2.** Design of the motor-axial bearing assembly:

- 1 – brass bushings with a babbitt lining; 2 – braids from woolen yarn; 3 – drain plugs; 4 – mesh; 5 – bypass pipe; 6 – filling pipe; 7 – housing of the motor-axial bearing box; 8 – filler cap; 9 – box mounting bolt; 10 – locking bar; 11 – cover of the motor-axial bearing box; 12 – thumbshell cover; 13 – key; 14 – liner window; 15 – steel shim; А – tapered hole; В – working chamber; В – backup camera

В конструкции буксы МОП предусмотрены две сливные пробки, одна из которых предназначена для регулирования положения перепускной трубки и слива смазки из рабочей камеры, а вторая для слива смазки из запасной камеры.

Смазка под давлением 0,25–0,3 МПа (2,5–3 кгс/см<sup>2</sup>) подается с помощью шланга с металлическим наконечником через заправочное отверстие в запасную камеру. После этого смазка через перепускную трубку поступает в рабочую камеру. Воздух вытесняется в атмосферу с помощью перепускного канала, рабочую камеру, а также камеру для

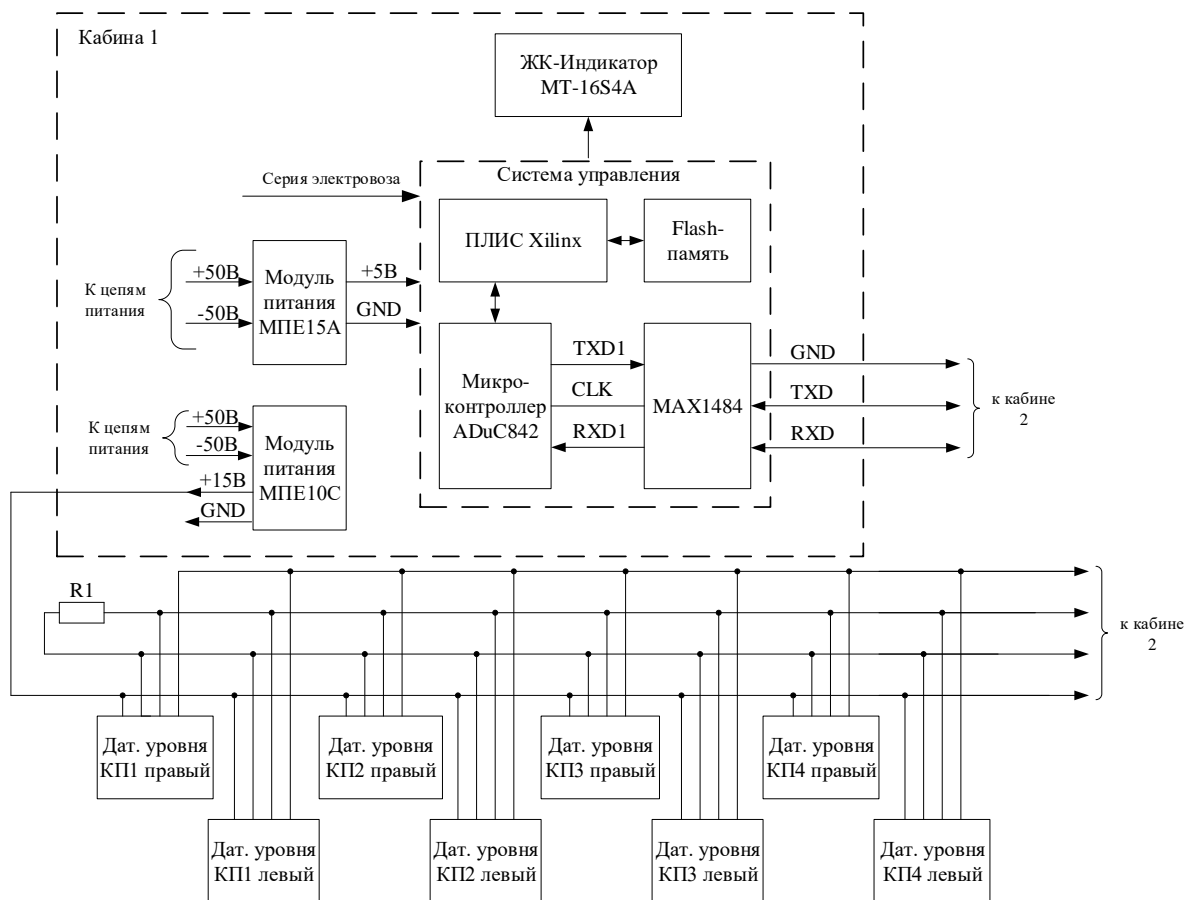
кос. Смазка из запасной камеры поступает в рабочую. В результате воздух собирается в верхней части запасной камеры и создается противодавление, и достигнув величины давления запрессовки, смазка выходит из наконечника. Затем шланг достают из заправочного отверстия. Под давлением воздуха и собственной массы смазка поступает в рабочую камеру через конусообразное отверстие, соединяющее рабочую камеру с запасной, а из рабочей камеры через сетку в камеру кос. Уровень смазки в запасной камере уменьшается, а также снижается давление воздуха в верхней части камеры. В результате возникает разреженность воздуха, притягивающая смазку и удерживающая ее от дальнейшего перетекания из камеры в камеру. Смазка из рабочей камеры по шерстяной подбивке поступает на шейку оси, за счет чего уровень смазки в рабочей камере снижается. При открытии нижнего отверстия перепускной трубки воздух из атмосферы через подбивочную, рабочую камеру и открывшийся перепускной канал поступит в верхнюю часть запасной камеры. Разреженность в верхней части запасной камеры исчезает и давление сравнивается с атмосферным. Смазка перестает удерживаться в запасной камере и перетекает через конусообразное отверстие в рабочую камеру.

Снижение уровня смазки в запасной камере МОП вызывает понижение давления в верхней части камеры, за счет чего смазка из запасной камеры не поступает в камеру для кос, что позволяет поддерживать уровень в камере для кос и рабочей камере примерно одинаковым [2, 3].

МОП представляет собой вторую опору ТЭД и является динамически нагруженным узлом электровоза, поэтому за ним требуется постоянный контроль и уход. Контроль смазки в буксе МОП необходим, потому что значительное количество отказов в работе букс происходит по причине нагрева и неудовлетворительной подачи смазки в рабочую зону [4, 5].

Открытым на сегодняшний день остается вопрос по определению уровня смазки именно в запасной камере МОП, так как способов на сегодняшний день не существует, в то время как именно уровень смазки в этой камере может сказать об остаточном количестве смазки и позволяет определить остаточный ресурс МОП.

В качестве решения предлагается система контроля уровня смазки в запасной камере буксы МОП, которая позволит контролировать расход смазки и сократить количество отказов в работе МОП [6]. Она предусматривает датчик уровня масла, который будет устанавливаться в корпус буксы в верхней части, систему управления.



**Рис. 3.** Функциональная схема системы непрерывного контроля уровня смазки в запасной камере боксы моторно-осевого подшипника

**Fig. 3.** Functional diagram of the system for continuous monitoring of the grease level in the backup chamber of the axle-motor bearing box

Функциональная схема (рис. 3) представляет устройство и принцип работы системы непрерывного контроля уровня смазки в запасной камере боксы МОП для электровоза Э5К. Система предусматривает датчики уровня, устанавливаемые в боксы МОП, а также для каждой кабины электровоза систему управления, которая преобразует и передает сигналы с датчиков на блок индикации.

Датчики уровня масла с интерфейсом RS-485 необходимы для измерения уровня масла в запасной камере боксы МОП. Датчики получают питание напряжением 15 В через стабилизирующий модуль питания МПЕ10С. Система управления, содержащая в себя приемопередатчик MAX1484, микроконтроллер ADuC842 и программируемую логическую интегральную схему Xilinx XC3S50VQ100, получает питание напряжением 5 В через модуль питания МПЕ15А и предназначена для преобразования выходного сигнала с датчиков уровня и передачи его на жидкокристаллический индикатор МТ-16S4А [7, 8]. Также система управления имеет flash-память для хранения и передачи информации.

#### Датчик уровня НТР621

Существует большое разнообразие датчиков уровня: стержневые кондуктометрические, поплавковые, ультразвуковые, гидростатические, лазерные и т. д., отличающиеся принципом действия [9, 10]. При выборе датчика учитывались такие критерии, как габаритные размеры, измеряемая среда, температура окружающей среды, способ установки, а также работа с вязкими жидкостями. Исходя из этих требований, был выбран емкостный датчик уровня масла НТР621 (рис. 4) [11].

Работа датчика основана на свойстве конденсатора изменять свою емкость при перемене состава и распределения материала диэлектрика, который разделяет пластины конденсатора.

При изменении уровня измеряемой жидкости величина суммарной емкости конденсатора также меняется. Если конденсатор включен в электрическую цепь, то по изменению емкости можно однозначно судить об изменении уровня жидкости.

В конструкции емкостных датчиков не используются подвижные элементы, поэтому они достаточно надежны и долговечны. Датчик контроля

уровня НТР621 может использоваться для проверки уровня непроводящего масла, включая дизельное топливо, керосин, бензин, гидравлическое масло. Он может регулировать длину стержня, поле калибрует нулевую точку и полный масштаб. Он может использоваться для измерения уровня жидкости (масла) железнодорожного локомотива, автомобильных топливных баков, танкеров, нефтяных депо.



Рис. 4. Датчик уровня масла НТР621  
Fig. 4. Oil level sensor НТР621

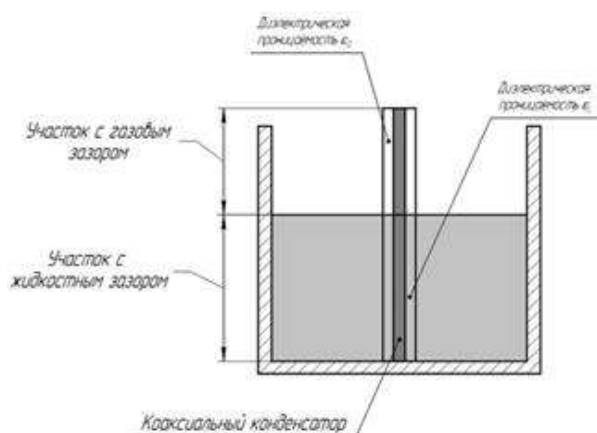


Рис. 5. Общая схема емкостного датчика уровня  
Fig. 5. General diagram of a capacitive level sensor

Для проработки проекта установки датчика в буксу МОП по габаритным размерам датчика была построена его 3D-модель (рис. 6).



Рис. 6. 3D-модель датчика НТР621  
Fig. 6. 3D model of the НТР621 sensor

Датчик следует устанавливать в верхнюю часть буксы по правому краю от заправочной горловины. Такое расположение датчика позволит беспрепятственно открывать и закрывать заправочную горловину, не создавая помехи при заправке буксы, а также датчик не будет упираться в стенки рабочей и

запасной камер, что позволит смазке легко перетекать через конусное отверстие, обеспечивая нормальную работу буксы (рис. 7).

Электрическая принципиальная схема системы непрерывного контроля уровня смазки в запасной камере буксы МОП включает несколько элементов (микроконтроллер, приемопередатчик, ПЛИС, модули питания, ЖК-индикатор). Каждый элемент имеет свою микросхему.

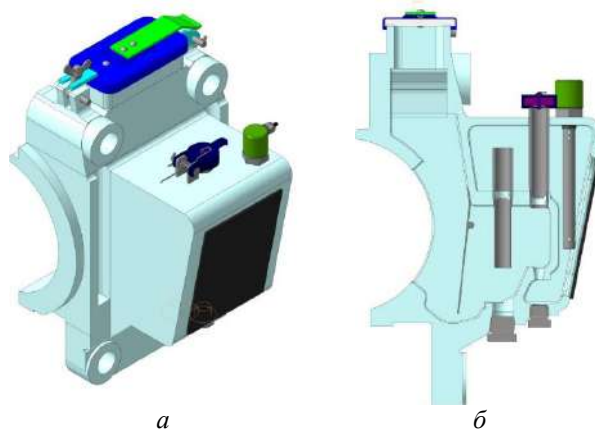


Рис. 7. Внешний вид расположения датчика уровня в буксе моторно-осевого подшипника:  
а – вид снаружи; б – вид в разрезе

Fig. 7. External view of the location of the level sensor in the axle-motor bearing box:  
а – outside view; б – sectional view

#### Алгоритм работы системы непрерывного контроля уровня смазки в запасной камере буксы моторно-осевого подшипника

Система непрерывного контроля смазки в запасной камере буксы МОП, как и любая другая

Система, работает согласно определенному алгоритму. Алгоритм четко указывает последовательность выполнения операций. Для каждой системы разрабатывается собственный алгоритм работы. Алгоритм для данной системы представлен далее (рис. 8).

Алгоритм предусматривает измерение уровня масла в запасной камере буксы МОП. Начинается измерение уровня с установки серии электровоза, затем проверяется рабочее состояние датчика. При рабочем состоянии измерительного прибора происходит измерение уровня масла в буксе. Сигнал с датчиков поступает в систему измерения, где данные преобразуются и передаются на ЖК индикатор для отображения уровня масла. При этом происходит проверка соответствия уровня по условным значениям, т. е. какому значению соответствует уровень смазки в буксе. При максимальном значении уровня горит зеленая лампочка. При понижении уровня до среднего значения начинает мигать красная лампочка, в случае достижения минимального

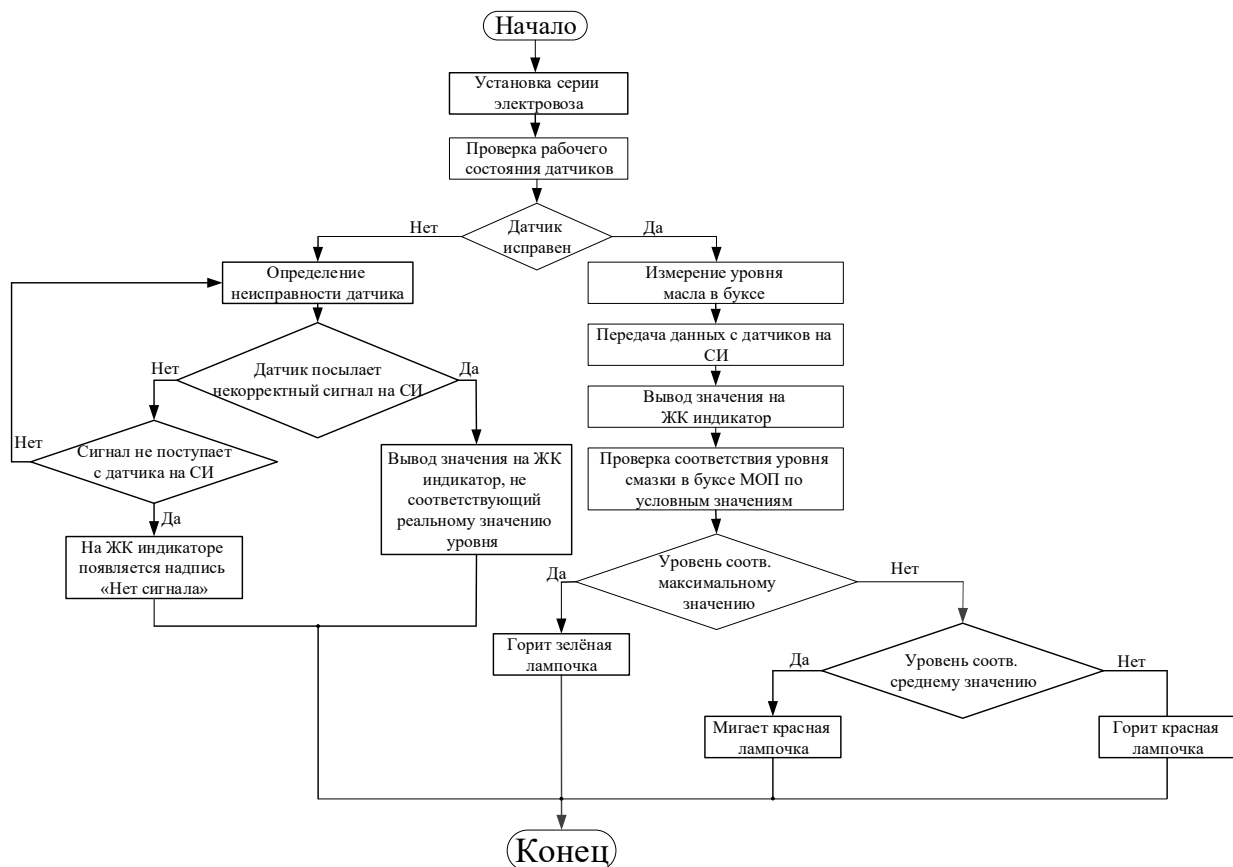


Рис. 8. Алгоритм работы системы непрерывного контроля уровня масла в буксе моторно-осевого подшипника

Fig. 8. Algorithm of operation of the system for continuous monitoring of the oil level in the motor-axle bearing box

уровня, загорается красная лампочка, что свидетельствует о необходимости заправки боксы смазкой.

В случае неисправности датчика измерения будут происходить некорректно, и на ЖК индикатор будет поступать неверная информация, которая не соответствует реальному уровню смазки в буксе. Также в случае неисправности датчика сигнал может вообще не поступать на систему измерения, о чем будет свидетельствовать надпись на ЖК индикаторе «Нет сигнала». В таких случаях, необходимо выявить причину неисправности датчика и устранить поломку для дальнейшей работы системы.

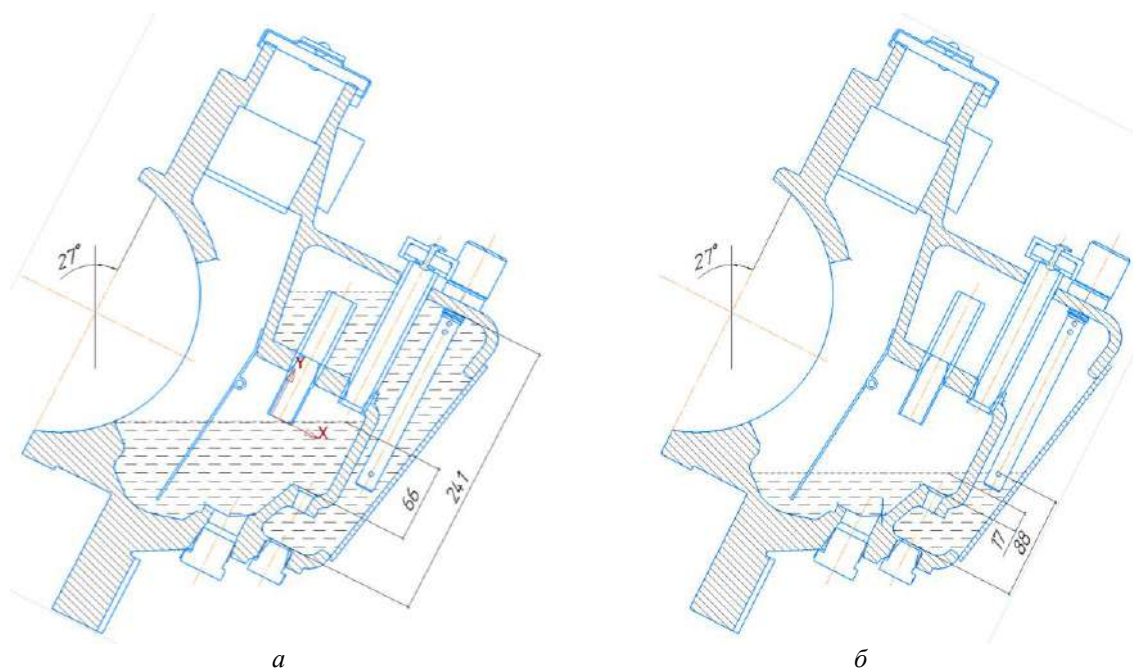
Конструкции шапок МОП одинаковы и различаются лишь размером высоты ниппеля. Разница в установке ниппеля (по высоте) на различных двигателях объясняется тем, что угол наклона шапок в рабочем положении у них разный: у тяговых двигателей НБ-514Б (электровоз ЭС5К) угол равен  $27^\circ$ , у двигателей НБ-412 и НБ-418 (электровозы ВЛ60, ВЛ80) –  $15^\circ$ , у двигателей НБ-514 (электровоз ВЛ85) –  $20^\circ$ . Соответственно изменению угла наклона шапки изменяется высота ниппеля [12–17]. Если же в шапку тягового двигателя НБ-514 установить нип-

пель так, как его устанавливают в шапке двигателя НБ-412, то в рабочем положении этих шапок нижний край ниппеля окажется выше порожка и смазка будет вытекать из подшипника [18], чтобы устранить эту неисправность, устанавливают ниппель необходимого размера.

На (рис. 9) показан максимальный и минимальный уровень масла в буксе МОП электровоза серии Э5К. Главным достоинством такой системы является то, что благодаря постоянному контролю уровня смазки можно не только отследить расход масла, но и в случае быстрого или медленного расхода смазки своевременно предупредить о неисправном состоянии боксы МОП и необходимости производства своевременного обслуживания боксы и тем самым избежать нагрева МОП, задира шейки оси и выгорания кос.

### Заключение

Система непрерывного контроля смазки в запасной камере боксы МОП, позволяет предупреждать аварийные состояния боксы МОП, вовремя производить их обслуживание за счет постоянного мониторинга уровня смазки локомотивной бригадой.



**Рис. 9.** Уровень масла в боксе электровоза Э5К:  
*a* – максимальный уровень; *б* – минимальный уровень  
**Fig. 9.** Oil level in the box of the E5K electric locomotive:  
*a* – maximum level; *b* – minimum level

#### Список литературы

1. Больше внимания моторно-осевым подшипникам / Л.М. Лорман // Локомотив. 2004, № 11. С. 21–25.
2. Буше Н.А., Фролов В.К. Сталебабитовые моторно-осевые подшипники для магистральных локомотивов // Вестник ВНИИЖТ, 2000. № 4. С. 28.
3. Текущий ремонт и техническое обслуживание электровозов постоянного тока / С.Н. Красковская, Э.Э. Ридель, Р.Г. Черепашенцев. М.: Транспорт, 1989. 408 с.
4. Моторно-осевые подшипники и системы их смазки на современных отечественных локомотивах: учеб. пособие / О.В. Мельниченко, Ю.В. Газизов, Т.Н. Мельниченко. Иркутск: ИРГУПС, 2009. 96 с.
5. Шаповалов В.В., Ахвердиев К.С., Мурадов З.А. Моторно-осевые подшипники скольжения локомотивов с организованной капиллярной системой смазки // Электровозостроение. Вестник ВЭЛНИИ. Новочеркасск, 1992. С. 201–207.
6. Экономика железнодорожного транспорта : учеб. для вузов ж.-д. транс. / под ред. Н.П. Терёшиной, Б.М. Лапидуса, М.Ф. Трихунова. М.: УМК МПС России, 2012. 583 с.
7. Микроконтроллер ADuC842. Предварительные технические характеристики. URL: [http://autex.spb.su/download/microconverter/aduc842\\_pr\\_rus.pdf](http://autex.spb.su/download/microconverter/aduc842_pr_rus.pdf) (дата обращения: 04.07.2020).
8. ПЛИС с архитектурой FPGA семейства Spartan™-3. URL: <http://amber.ssau.ru/download/spartan3.pdf> (дата обращения: 04.07.2020).
9. Датчики уровня жидкости. URL: [https://rusautomation.ru/datchiki\\_urovnya/datchiki-urovnya-zhidkosti](https://rusautomation.ru/datchiki_urovnya/datchiki-urovnya-zhidkosti) (дата обращения: 12.04.2020).
10. Классификация датчиков уровня. URL: <http://dis-rostov.ru/datchiki-urovnya-vodi-topliva-zhidkosti/> (дата обращения: 10.04.2020).
11. НРТ621 Multipurpose Capacitance Level Sensor. URL: [https://holykell.com/products/NPT621\\_Multipurpose\\_Capacitance\\_Level\\_Sensor.html](https://holykell.com/products/NPT621_Multipurpose_Capacitance_Level_Sensor.html) (дата обращения: 04.07.2020).
12. Инструкция по охране труда для слесаря по ремонту электровозов ОАО «РЖД». ИОТ РЖД-4100612-ЦТР-19-2012.5.
13. ПКБ ЦТ.25.0103. ОАО «РЖД». Технология подготовки, заправки, подбивки и уход в процессе эксплуатации моторно-осевых подшипников тяговых двигателей локомотива. 2011. 20 с.
14. Тушканов, Б.А. Электровоз ВЛ80Р. Руководство по эксплуатации / под ред. Б.А. Тушканова. М.: Транспорт, 1985. 541 с.
15. Электровоз ВЛ80С. Руководство по эксплуатации. М.: Транспорт, 1982. 622 с.
16. Электровоз ВЛ85: Руководство по эксплуатации / Б.А. Тушканов, Н.Г. Пушкарев, Л.А. Позднякова и др. М.: 1995. 480 с.
17. Электровоз магистральный 2ЭС5К (3ЭС5К). Руководство по эксплуатации. Новочеркасск, 2007. Т. 1, 635 с. Т. 2, 640 с.

18. Евдокимов А.Ю. и др. Экологические проблемы использования смазочных материалов. М.: Нефть и газ, 2000. 422 с.

### Referenses

1. Lorman L.M. Bol'she vnimaniya motorno-osevym podshipnikam [More attention to motor-axial bearings]. *Lokomotiv [Locomotive]*, 2004. No. 11. Pp. 21–25.
2. Boucher N.A., Frolov V.K. Stalebabbitovye motorno-osevye podshipniki dlya magistral'nykh lokomotivov [Steel-babbit motor-axial bearings for mainline locomotives]. *Vestnik VNIIZhT [Vestnik of Railway Research Institute]*, 2000. No. 4. P. 28.
3. Kraskovskaya S.N., Riedel' E.E., Cherepashenets R.G. Tekushchii remont i tekhnicheskoe obsluzhivanie elektrovozov postoyannogo toka [Routine repair and maintenance of direct current electric locomotives]. Moscow: Transport Publ., 1989. 408 p.
4. Mel'nichenko O.V., Gazizov Yu.V., Mel'nichenko T.N. Motorno-osevye podshipniki i sistemy ikh smazki na sovremennykh otechestvennykh lokomotivakh: ucheb. posobie [Motor-axial bearings and their lubrication systems on modern domestic locomotives: a study manual]. Irkutsk: IrGUPS Publ., 2009. 96 p.
5. Shapovalov V.V., Akhverdiev K.S., Muradov Z.A. Motorno-osevye podshipniki skol'zheniya lokomotivov s organizovannoi kapillyarnoi sistemoi smazki [Motor-axial sliding bearings of locomotives with an organized capillary lubrication system]. *Elektrovozostroyeniye. Vestnik VELNI. [Electric locomotive building. VELNI Bulletin]*. Novocheboksarsk, 1992. Pp. 201–207.
6. Tereshina N.P., Lapidus B.M., Trikhunova M.F. (eds.) *Ekonomika zheleznodorozhnogo transporta: ucheb. dlya vuzov zh.-d. trans.* [Economy of railway transport: a textbook for universities of railway transport]. Moscow: UMK Ministry of Railways of Russia Publ., 2012. 583 p.
7. Mikrokontroller ADuC842. Predvaritel'nye tekhnicheskie kharakteristiki [Microcontroller ADuC842. Preliminary specifications] [Electronic media]. URL: [http://autex.spb.su/download/microconverter/aduc842\\_pr\\_rus.pdf](http://autex.spb.su/download/microconverter/aduc842_pr_rus.pdf) Accessed: April 07, 2020.
8. PLIS s arkhitekturoi FPGA semeistva Spartan™-3 [PLDs with a FPGA architecture of the Spartan™ -3 family] [Electronic media]. URL: <http://amber.ssau.ru/download/spartan3.pdf> Accessed: April 07, 2020.
9. Datchiki urovnya zhidkosti [Liquid level sensors] [Electronic media]. URL: [https://rusautomation.ru/datchiki\\_urovnya/datchiki-urovnya-zhidkosti](https://rusautomation.ru/datchiki_urovnya/datchiki-urovnya-zhidkosti) Accessed: April 12, 2020.
10. Klassifikatsiya datchikov urovnya [Classification of level sensors] [Electronic media]. URL: <http://dis-rostov.ru/datchiki-urovnya-vodi-topлива-zhidkosti/> Accessed: April 10, 2020.
11. HPT621 Multipurpose Capacitance Level Sensor [HPT621 Multipurpose Capacitance Level Sensor] [Electronic media]. URL: [https://holycell.com/products/HPT621\\_Multipurpose\\_Capacitance\\_Level\\_Sensor.html](https://holycell.com/products/HPT621_Multipurpose_Capacitance_Level_Sensor.html) Accessed: April 07, 2020.
12. Instruktsiya po okhrane truda dlya slesarya po remontu elektrovozov OAO «RZhD». IOT RZhD-4100612-TsTR-19-2012.5. [Instruction on labor protection for a locksmith for the repair of electric locomotives of “Russian Railways” OAO. IOT RZD-4100612-TsTR-19-2012.5].
13. Elektrovoz VL80R. Rukovodstvo po ekspluatatsii [PKB TsT.25.0103. Russian Railways OAO. Technology of preparation, refueling, tamping and maintenance during operation of axial motor bearings of locomotive traction motors. 2011. 20 p].
14. Tushkanov B.A. [Electric locomotive VL80R. An operation manual. In Tushkanov B.A. (ed.) Moscow: Transport Publ., 1985. 541 p.
15. Elektrovoz VL80S. Rukovodstvo po ekspluatatsii [Electric locomotive VL80S. An operation manual]. Moscow: Transport Publ., 1982. 622 p.
16. Tushkanov B.A., Pushkarev N.G., Pozdnyakova L.A. et al. Elektrovoz VL85: Rukovodstvo po ekspluatatsii [Electric locomotive VL85. An operation manual]. Moscow, 1995. 480 p.
17. Elektrovoz magistral'nyi 2ES5K (3ES5K). Rukovodstvo po ekspluatatsii. [Mainline electric locomotive 2ES5K (3ES5K). An operation manual]. Novocheboksarsk, 2007. Vol. 1, 635 p. Vol. 2, 640 p.
18. Evdokimov A.Yu. et al. *Ekologicheskie problemy ispol'zovaniya smazochnykh materialov* [Environmental problems of the use of lubricants]. Moscow: Neft' i gaz Publ., 2000. 422 p.

### Информация об авторах

**Яговкин Дмитрий Андреевич** – канд. техн. наук, доцент кафедры электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: yagovkinda@mail.ru.

**Мельниченко Олег Валерьевич** – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: olegmelnval@mail.ru.

**Линьков Алексей Олегович** – канд. техн. наук, доцент кафедры электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: linkovalex@mail.ru.

**Шрамко Сергей Геннадьевич** – канд. техн. наук, доцент кафедры электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: novorossrg@mail.ru

### Information about the authors

**Dmitrii A. Yagovkin** – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Subdepartment of Electric Rolling Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: yagovkinda@mail.ru.

**Oleg V. Mel'nichenko** – Doctor of Engineering Science, Professor, Head of the Department Electric Rolling Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: olegmelnval@mail.ru.

**Aleksei O. Lin'kov** – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Subdepartment of Electric Rolling Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: linkovalex@mail.ru.

**Sergei G. Shramko** – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Subdepartment of Electric Rolling Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: novorossrg@mail.ru