

## **ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА ПОВИШАВАНЕ НА ЕКСПЛОАТАЦИОННИТЕ ПОКАЗАТЕЛИ НА ТЯГОВА ЕЛЕКТРОЗАХРАНВАЩА СИСТЕМА**

**Тодор Лалев**

[lalev85@gmail.com](mailto:lalev85@gmail.com)

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”  
гр. София, ул. „Гео Милев” 158  
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** дигитализация, програмируем логически контролер, тягова електрозахранваща система, сензор.*

***Резюме:** Железопътната инфраструктура (ЖИ) представлява сложно съоръжение, състоящо се от множество технически устройства и системи. Нормалното ѝ функциониране до голяма степен зависи от тяхната надеждната работата и взаимодействието им. Една от основните системи, която обезпечава функционирането на ЖИ е тяговата електрозахранваща система (ТЕС), осигуряваща електроснабдяване на тяговите товари (електрическите транспортни средства). ТЕС представлява сложна техническа структура, работеща при всякакви условия с висока степен на надеждност и почти непрекъснат режим на работа, при който макар и рядко възникват различни повреди и аварии по време на експлоатация. Затова актуалността на изследването за повишаване на експлоатационните показатели на ТЕС се явява една от най-сложните и актуални задачи.*

### **1. ВЪВЕДЕНИЕ**

Електрическата система в Железниците на Република България се състои основно от две подсистеми. Тяговите подстанции (ТПС) представляват понижавачи подстанции, където двуфазното напрежение от 110 kV от електроенергийната система (ЕЕС) се понижават и преобразува в монофазно с напрежение от 25 kV. Втората подсистема е контактната мрежа (КМ), която осигурява преноса на преобразуваната електроенергия и предаването ѝ към електрическото превозно средство.

Статистически погледнато, отказите в КМ са по-чести и повече в сравнение с ТПС. Това е така поради няколко основни причини [2,4,7]:

***Динамична експлоатация:** КМ е непрекъснато подложена на износване и натоварване поради динамичното взаимодействие с ЕПС. Това води до повече възможности за повреди поради износване, вибрации и физически удари.*

***Експлоатационни условия:** КМ е изложена на различни атмосферни условия, като влага, вятър, високи и ниски температури и дори екстремни условия като сняг, дъжд, гръмотевици и др.. Тези условия могат да допринесат за по-чести повреди.*

**Интензивно използване:** КМ се използва интензивно, особено в ЖИ с повишено натоварване, където има голям обем на превозите. По-голямото натоварване може да доведе до по-чести повреди.

**Сложност на системата:** КМ обикновено е по-сложна и разпространена, включваща големи разстояния и множество възможни точки на потенциална повреда. Това прави откриването и отстраняването на проблеми по-трудно и по-сложно.

**Взаимодействие с външни фактори:** КМ е изложена на влиянието на външни фактори като растителност, животни, вандалски актове и други, които могат да предизвикат повреди или смущения в нейната работа.

Повечето откази в контактната мрежа (КМ) често водят до значително намаляване на експлоатационните показатели на техническата електрическа система (ТЕС) поради следните фактори:

**Прекъсване на електрозахранването:** Отказите в КМ могат да доведат до прекъсване на електрозахранването на ЕПС, което води до спиране на движението на влаковете и затруднения за пътниците.

**Намалена работоспособност:** Ако отказите в КМ не се отстрани бързо и ефективно, те могат да доведат до намалена работоспособност на ЖИ, като забавяне на графика, намаляване на скоростта на влаковете и увеличаване на времето за пътуване.

**Намалена надеждност:** Честите откази в КМ могат да намалят надеждността на системата като цяло, като съкратят периода на междуремонтни интервали и увеличат риска от бъдещи повреди.

**Увеличени разходи за поддръжка и поправка:** Поправката на повредите в КМ изисква значителни ресурси и време. Повечето откази в КМ налагат допълнителни разходи за поддръжка и поправка на системата.

Следователно, ефективното управление на отказите, доколкото това е възможно, в КМ е от съществено значение за запазване на високите експлоатационни показатели на ТЕС и за осигуряване на надеждност и безопасност на железопътния транспорт.

Затова и в настоящия доклад са показани някои възможности за повишаване на експлоатационните показатели на КМ като част от ТЕС чрез дигитализация на същата.

## 2. СЪЩИНСКА ЧАСТ

При експлоатацията се появяват повреди по контактната мрежа, които водят до прекъсване на влаковото движение или създават затруднения, които намаляват скоростите или дори предизвикват спиране на превозните средства. Организацията и редът за възстановяване на повредите зависят от характера им, но трябва да бъдат насочени към една цел — бързо възстановяване на движението на влаковете. Скоростта на възстановяване на контактната мрежа зависи от правилната последователност на извършваните действия.

Редица автори са работили в областта на анализа на отказите в КМ, като статистически погледнато, в по-голямата си част, те са следствие на външни влияния, като неблагоприятни метеорологични условия, смущения в електрозахранването, попадане на предмет върху КМ, неизправност в токоснемател на електрическо транспортно средство и други. Тези външни фактори могат значително да повлияят на експлоатационната пригодност на КМ, което налага необходимостта от допълнителни мерки за минимизиране на риска и повишаване на устойчивостта на системите срещу такива въздействия. Така например в [4] се докладва, че по време на експлоатация, през една конкретна година, 11,6 % от общия брой откази в КМ на НКЖИ са следствие на паднали дървета, клони и предмети на КМ, като времето за отстраняването им е било 708 минути.

Също така от [7] се вижда, че друг тип повреда респективно отказ на КМ се получават следствие на ледообразуване по контактния проводник, като авторите [7] докладват, че за 2014г. времето за отстраняване на аварията е било 1147 минути.

От казаното до тук се вижда, че две основни причини за откази в системата на КМ са ледообразуването и отказите вследствие на паднал предмет върху мрежата.

Затова в настоящия доклад е направено предложение за концепция за система за мониторинг (дигитален близък), която да бъде внедрена в железопътната инфраструктура на НКЖИ. Системата трябва да следи състоянието на КМ и в случай на авария да сигнализира към работен център и/или SCADA система. Анализирани са и някои съществуващи системи, и е дадено предложение как те да бъдат надградени и интегрирани в съществуващи участъци от ЖИ.

### 3. ПРЕДЛОЖЕНИЕ ЗА КОНЦЕПЦИЯ НА СИСТЕМА ЗА МОНИТОРИНГ НА КОНТАКТНА МРЕЖА

Системите за мониторинг на параметрите на контактната мрежа съществуват в Западна Европа повече от 20 години, но за съжаление у нас все още не са намерили приложение. Създаването на дигитален близък на контактна мрежа е сложен процес, който изисква сътрудничество между инженери, IT специалисти и експерти по данни.

За създаване на концепцията бяха дефинирани следните изисквания и задачи:

- *Изследване на инфраструктурата:* Събиране на данни за всички компоненти на КМ, включително стълбове, кабели, изолатори, компенсаторни и т.н.
- *Избор на сензори и апаратура:* избор на сензори и апаратура по КМ за събиране на данни в реално време. Тези сензори да могат да измерват параметри като напрежение, ток, температура, вибрации и механично напрежение.
- *Геопространствени данни:* Използване на GIS технологии за картографиране на инфраструктурата и за точното позициониране на всички компоненти на КМ.

#### 3.1. Данни за инфраструктурата

Преди да разгледаме предложението за дигитализация е необходимо да изберем участък, за който да знаем техническите му параметри. В конкретния случай съм избрал участъка Първомай – Димитровград част от линията Пловдив – Свиленград модернизирани с КМ на Siemens тип Sicat S през 2012г. В Таблица 1 са посочени техническите характеристики, на КМ Sicat S.

Следенето на тези технически характеристики е от изключителна важност за осигуряване на безопасност, надеждност и експлоатационна годност на КМ. Внедряването на система за мониторинг на околната среда както и дигитализиране на КМ ще позволи наблюдение на тези параметри в реално време, като по този начин ще се подобри устойчивостта на системата и ще се намали вероятността от повреди и откази.

Таблица 1 Технически параметри на Sicat S

Параметър	Стойност	Единица
Номинално напрежение	25	kV
Честота	50	Hz
Скорост	220	km/h
Температурен диапазон	от - 30 до 40	°C
Средна скорост на вятъра	33	m/s
Височина на контактния проводник	5,5	m
Системна височина	1,45	m
Максимално междустълбие	60	m
Максимален ток	1140*	A
Височина на контактния проводник	5.0 - 5.5	m
Допустимо отклонение на височината	± 100	mm

Параметър	Стойност	Единица
Контактна сила на пантографа	70 - 90	N
Анкърно полуполе	700	m
Контактна мрежа AC-120-CuAg0.1 + Bz 70 (основни линии)	2 x 15	kN
Контактна мрежа AC-80-Cu+ Bz 50 (Второстепенни линии)	2 x 10	kN
Обратен проводник EN 50182-184-AL 1/30-ST1A	-	-
Еднопътен участък		

\* Съгласно ТСЖИ Подсистема електрозахранване на тягов подвижен състав 25 kv, 50 Hz. Контактна система. Токоснематели. Механично взаимодействие между токоснемателите и контактната мрежа.

### 3.2. Избор на апаратура и сензори

От казаното до тук се вижда, че две основни причини за повреди и аварии в контактната мрежа са ледообразуването и отказите вследствие на паднал предмет върху мрежата. Тези проблеми могат да бъдат ефективно адресирани чрез създаването на цифров близък на КМ, който позволява в реално време наблюдение и управление на системата, както и предсказване и предотвратяване на повреди.

За тази цел е необходимо да се предложат подходящи технически решения, които да извършват необходимото наблюдение.

#### 3.2.1. Апаратура за следене на атмосферни и метеорологични условия

Климатичните и атмосферните явления като вятър, заледяване и температура на въздуха оказват значително влияние върху контактната мрежа, действайки в различни комбинации и с известна степен на случайност. Така например, при температури под точката на замръзване, при наличие на достатъчно влага във въздуха и вятър, духащ



Фиг. 2. Общ вид на системата за следене на атмосферни условия

срещу проводниците, може да се образува скреж върху тях. Също така, супер охладен дъжд и мокър сняг могат да доведат до значително натрупване на лед върху проводниците, което да предизвика откази.

Затова следенето на параметрите на тези явления в реално време е от изключителна важност за вземането на превантивни решения за предотвратяване на откази в КМ. При създаването на концепцията, от съществено значение е да се избере система, която да следи атмосферните явления. Тази система трябва да може да бъде включвана в мрежа за предаване на данни към SCADA, където тези данни да бъдат анализирани и, в случай на необходимост, да бъдат вземани превантивни решения за предотвратяване на отказите вследствие на ледообразуване или свръхнатоварвания, породени от силни ветрове, които могат да нарушат геометрията на КМ и съответно да предизвикат излизане на токоснемателите от оста на пътя.

На фигура 1 е показана общ вид на такава система, която да следи описаните по-горе параметри и същите да се изпращат към SCADA системата. Тя е изградена и включва:

#### Където:

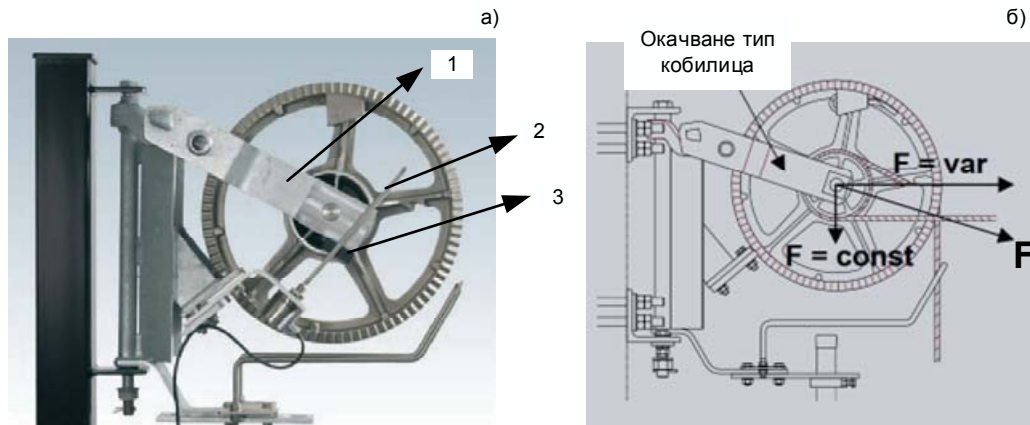
- 1 - Сензор за температура и влажност на въздуха - измерва и отчита температурата и относителната влажност на въздуха;
- 2 и 4 - Анемометърът - измерва скоростта и посоката на вятъра;
- 3 - Соларен панел – служи за захранване на системата;

- 5 - Сензор за дъжд и сняг - открива и измерва наличието и интензивността на валежите, включително дъжд и сняг;
- 6 - Сензор за дъжд - открива и измерва наличието и интензивността на валежите;
- 7 - Контролер - събира и предава информацията от сензорите към системата SCADA.

### 3.2.2. Апаратура за следене наличие на предмет на КМ

Както бе описано по-горе външните влияния следствие на попаднал предмет на КМ могат да доведат до повреди на същата и да прекъснат техния нормален режим на работа. Това налага нуждата от интегриране на системи за дефектиране и сигнализиране за откази в КМ.

Като водещ производител на КМ Siemens е разработил система за наблюдение Sicat CMS [1,3], която има за цел постоянно да извършва мониторинг на КМ и да алармира в случай на нередности. Това са например паднали дървета [3], колебания в сцеплението или кражба и т.н.. Този тип система може да се монтира компенсаторни устройства от серията Sicat 1:3, като същия тип се използват в участъка Първомай – Димитровград. Общ вид на такава система е показан на фигура 2.



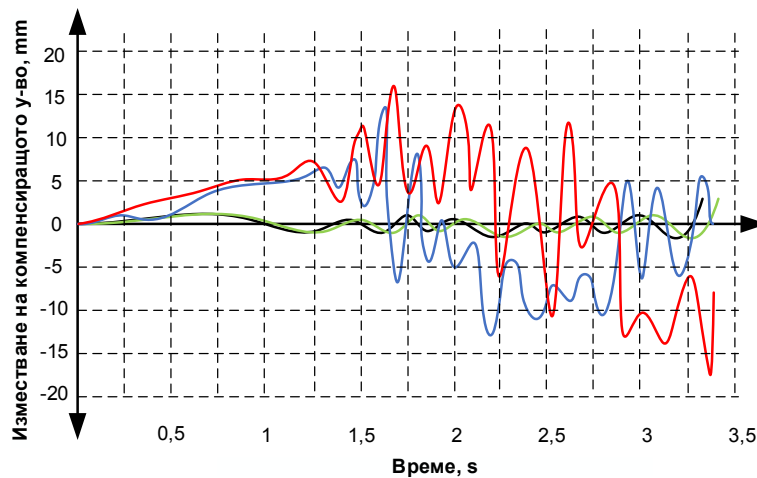
Фиг. 2. Общ вид на компенсаторно устройство Siemens Sicat  
 а) Общ вид на компенсиращо устройство с инсталиран сензор; б) Сили на действие при експлоатация на компенсиращо устройство;

#### Където:

- 1 – Окачване на компенсиращо устройство;
- 2 – Сензор за измерване на движението на скоростта на постоянния магнит ;
- 3 – Постоянен магнит.

На системата за окачване на компенсиращото колело, следствие на силите на опън на КМ действа сила  $F$ , която може да бъде представена с две съставни. Константна сила  $F_{const}$  породена от тежестите които служат за компенсиране и променливата съставна на  $F_{var}$ , която зависи от натоварването на КМ. Системата за мониторинг Sicat CMS следи чрез сензора 2, на фиг.2а, вибрациите в окачването компенсиращото устройство, които от своя страна са породени от променливата съставна на силата  $F_{var}$ . Така в случай на попаднал предмет върху КМ,  $F_{var}$  се изменя и системата детектира отказа. Примерна графика на вибрации в анкърно поле с настъпил отказ е дадена на фигура 3., графиките в червено и синьо са на компенсиращите устройства на полуполето, в което е попаднал предмет, а тези в черно и зелено са на компенсиращите у-ва на полуполето, в което няма попаднал предмет. Също така този тип сензори има едно предимство, при скъсване на КМ, в което и да е полуполе, те детектират събитието и могат да изпратят сигнал за изключване на прекъсвача/чите

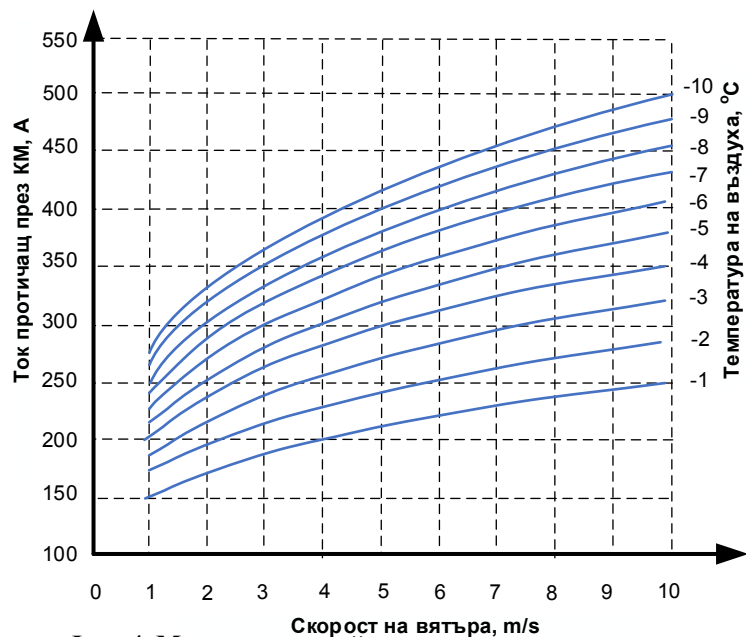
захранващи участъка, преди КМ да е попаднала на земята и да се е получило земно съединение.



Фиг. 3. Примерна графика на изместване на окачването на компенсиращи устройства Siemens Sicat [Източник Siemens Mobility [2]]

### 3.2.3. Апаратура за автоматизирано управление на процеси в системата за КМ

Както бе описано по-горе един от основните откази в КМ е ледообразуването. Това явление е многократно изследвано през годините и има редица публикации в областта [2,6,7]. Към момента се използват три основни метода за справяне с ледообразуването, като те са: механично, химическо и чрез пускане на електрически ток в КМ. Настоящата работа не разглежда различните методи, а представя едно виждане как може процеса по ледотопене чрез пускане на електрически ток в КМ да бъде автоматизиран. В т. 3.2.1. е предложена система, която да следи метеорологичните условия и в случай на условия, подходящи за появата на лед по КМ същата ще изпрати сигнал за аларма в SCADA. За да се предотврати появата на лед по КМ респективно на отказ, в SCADA центъра може да се извършат необходимите действия и съответно застрашения участък да бъде приведен в условия за пускане на електрически ток. За да се случи всичко това участъка трябва да бъде автоматизиран и пригоден за дистанционно управление.



Фиг. 4. Минимални стойности на тока за осигуряване на ледотопене за контактен проводник AC 120 CuMg

Нормалния режим на работа на захранване на участъците от КМ е едностранно, като един участък се захранва от две съседни ТПС. Двустранно захранване не се прилага, тъй като между съседните ТПС могат да протекат уравнителни токове. Именно този принцип се прилага, когато е необходимо да се извърши ледотопене чрез пускане на ток. На графиката, на фигура 4 [2] са показани какви са минималните

стойности на тока за конкретен проводник и съответната околна среда (температура и скорост на вятъра), при които стойности ще настъпи ледотопене. Именно тези графики е необходимо да бъдат заложени в алгоритъма на управление на уравнилните токове, за да бъде процеса автоматизиран и съответно ефективен.



Фиг. 5. Общ вид на PLC Siemens S7 1200

Нормалното захранване на системата на електрозахранване на КМ е радиално (едностранно), за да се приведе във възможност за протичане на уравнилни токове основния секционен пост между съседните ТПС трябва да бъде включен и съответно да запаралели двата съседни участъка. Необходимо е и ясновите регулатори да се настроят така, че следствие на разликата в напреженията между съседните ТПС да протекат уравнилни токове. Този процес е подробно изследван от [5]. За стартиране на този процес дистанционно или автоматично е необходимо основния секционен пост да бъде дистанционно управляем и автоматизиран. За този процес предлагам да бъде използван PLC на фирмата Siemens S 7 1200. С помощта на PLC моторните разединители в ОСП могат да се управляват и съответно безопасно блокират и контролират. Общ вид на Siemens S7 1200 е показан на фигура 5. В [5] са налични подробните технически спецификации на устройството.

#### 4. ИЗВОДИ

Предложената в доклада концепция за дигитални технологии за мониторинг и управление на КМ може да има значителни ползи за повишаване на нейната експлоатационна разполагаемост. Ето някои от основните изводи:

- По-бързо откриване на откази: Цифровите системи за мониторинг могат да откриват аномалии и потенциални проблеми в реално време, което позволява на операторите да реагират бързо и да предприемат подходящи мерки за отстраняване на проблема преди да стане сериозен.
- Повишена надеждност и производителност: Системите за дигитален мониторинг позволяват на операторите да извършват предварително прогнозиране на нуждите от поддръжка и да планират дейностите си по-ефективно. Това може да намали времето за непланирано прекъсване на работата и да подобри производителността на системата.
  - По-голяма ефективност на ресурсите: Използването на цифрови технологии може да намали нуждата от човешки наблюдатели и да увеличи автоматизацията на процесите за мониторинг и управление. Това може да доведе до по-ефективно използване на ресурсите и намаляване на операционните разходи.
  - Подобрена предсказуемост: Анализът на данни и използването на алгоритми за машинно обучение могат да помогнат за предвиждане на вероятни повреди и проблеми, което позволява на операторите да предприемат проактивни мерки за предотвратяване на проблемите преди те да възникнат.

#### 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В крайна сметка, въвеждането на дигитални технологии за мониторинг и управление на контактната мрежа може да допринесе за по-надеждно, ефективно и устойчиво функциониране на жезопътния транспорт, като същевременно осигури подобър опит за пътниците и намали негативните въздействия върху обществото и околната среда.

## ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Dölling A., Nachspanneinrichtungen mit Radspannern für Oberleitungen. В 2580 8/9, 2014 Elektrische Bahnen Elektrotechnik im Verkehrswesen
- [2] Kiessling, Puschmann, Schmieder, Schneider, Contact Lines for Electric Railways: Planning, Design, Implementation, Maintenance, 2nd revised and enlarged edition, 2009
- [3] Sicat CMS Technical brochure, Mobility Division, Siemens AG, 2009
- [4] Биларев К., Приложения към Дисертация - Оптимизация на технологичните процеси за поддържане параметрите на контактната система в железопътния транспорт, София 2012г.
- [5] Лалев Т., Г. Павлов, Лабораторен симулатор за дигитализация на тягова електрозахранваща система, Научно списание Механика Транспорт Комуникации, том 19, брой 3, 2021 г. статия No 2135, ISSN 2367-6620 (online) <https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=https://mtc-aj.com/library/2135.pdf>
- [6] Павлов Г., Н. Стамболиев Влияние на климатичните условия върху надеждната работа на контактната мрежа, като елемент на железопътната инфраструктура, Механика Транспорт Комуникации том 16, брой 3/1, 2018 г. Научно списание <http://www.mtc-aj.com>, статия № 1605 ISSN 1312-3823 (print), ISSN 2367-6620 (online)
- [7] Стамболиев Н, Г. Павлов, Анализ на метод за ограничаване на ледообразуването по тяговите контактни мрежи за променлив ток, Механика Транспорт Комуникации том 17, брой 3, 2019 г. Научно списание <http://www.mtc-aj.com> статия № 1871, ISSN 1312-3823 (print), ISSN 2367-6620 (online)

## STUDY OF THE POSSIBILITIES FOR INCREASING THE OPERATIONAL INDICATORS OF THE TRACTION POWER SUPPLY SYSTEM BY DIGITALIZATION

**Todor Lalev**

[lalev85@gmail.com](mailto:lalev85@gmail.com)

***Todor Kableshkov University of Transport  
Sofia, 158 Geo Milev Str.  
THE REPUBLIC OF BULGARIA***

***Key words:*** digitalization, program logic controller, traction power supply system.

***Abstract:*** Railway infrastructure (RI) is a complex facility which consist many technical devices and systems. It is normal functioning depends on their reliable operation and interaction. One of the main systems that ensures the operation of RI is the traction power supply system (TPSS), providing electricity supply to traction loads (electric vehicles). TPSS is a complex technical structure operating in all conditions with a high degree of reliability and continuous operation, in which, although rarely, various damages and accidents occur during operation. Therefore, the relevance of the study to increase the performance of TPSS is one of the most complex and relevant tasks.

*This study examines the possibilities for increasing the operational performance of TPSS by digitalization.*

*In this regard, the main purpose is to conduct research and analysis of the possibilities for digitalization of TPSS by the use of PLC controllers.*