

Олександр Шмерего*

Завідувач сектору

Державний науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України

01601, вул. Богомольця, 10, м. Київ, Україна

<https://orcid.org/0009-0006-2870-700X>

Сергій Чуйко

Доктор філософії, доцент

Державний університет «Житомирська політехніка»

10005, вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-7052-5158>

Сергій Цимбал

Кандидат технічних наук, доцент

Вінницький національний технічний університет

21021, вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна

<https://orcid.org/0000-0003-3066-4169>

Особливості проведення досліджень аварійних процесів в електрообладнанні транспортних засобів на ділянці електричного кола: генератор – акумуляторна батарея

Анотація. У статті представлені результати і визначені проблеми на підставі проведення комплексних експертних досліджень умов, за яких виникають аварійні режими роботи електрообладнання транспортних засобів на ділянці електричного кола: генератор – акумуляторна батарея. Електричні пристрої складають значну частину причин пожеж транспортних засобів. Усі електричні пристрої в автомобілі підключаються до основного джерела живлення, акумулятора та генератора, за допомогою проводки. Структура електропроводки складається з провідника, який передає електричні сигнали, і ізолятора, що оточує провідник. В основному, форма і структура провідника, а також товщина ізолятора розроблені по-різному в залежності від різниці в допустимому струмі. Тому дуже небезпечно налаштовувати ланцюг, який підключає кілька електричних пристроїв до одного запобіжника, або необережно підключати зовнішню проводку для підключення окремих електричних виробів. Перевантаження у ланцюзі може спричинити коротке замикання електропроводки та пошкодження ізоляції через перегрів, що може призвести до прямого ризику займання автомобіля. Зроблено припущення, що серед найімовірніших причин пожежі – несправності проводки, які найчастіше приводять до короткого замикання. Ізоляція, порушена з тієї чи іншої причини, надає для оголених частин дротів можливість зімкнутися між собою або з «масою» автомобіля. Внаслідок протікання по дротам струму короткого замикання, надмірно великого для проводки даного перетину, починають нагріватися. Через високу температуру плавиться і запалюється ізоляція, від неї – прилеглі деталі з пластику та інших горючих матеріалів. Згідно з результатами проведеного дослідження, було встановлено, що причиною пожежі в розглянутому автомобілі став тепловий вплив електричного струму в зоні загоряння. Це призвело до займання ізоляції дроту, через який, відповідно до конструктивного рішення, під час роботи двигуна внутрішнього згоряння мав передаватися струм від автомобільного генератора до бортової електромережі. З огляду на різноманітність сучасних транспортних засобів іноземного виробництва та постійне вдосконалення їхньої електротехнічної

Suggested Citation:

Shmereg, O., Chuiko, S., & Tsymbal, S. (2024). Particularities of conducting emergency processes in electrical transportation facilities at the electric stake dalliance: Generator – battery. *Journal of Mechanical Engineering and Transport*, 10(2), 168-176. doi: 10.63341/vjmet/2.2024.168.

*Corresponding author



Copyright © The Author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

конструкції, виникає необхідність розширення та розвитку інформаційної бази, а також створення доступних довідників з експлуатації, методик проведення експертиз і досліджень електрообладнання

Ключові слова: пожежна безпека; транспортний засіб; генератор; пожежа; судова експертиза

Вступ

Пожежі на транспортних засобах виникають через механічні та електричні несправності під час експлуатації, людський фактор, дорожньо-транспортні пригоди і спричиняють втрату майна або навіть загрозу для життя людей. Приблизно 50 % пожеж на транспортних засобах трапляються в моторному відділенні, потім у вантажному відсіку, колесах і передніх сидіннях. Сучасний транспортний засіб наділений інноваціями у сфері безпеки, оснащений вдосконаленими функціями, які забезпечують комфорт, зручність і продуктивність, що відрізняє їх від своїх попередників. Разом з тим, в автотранспортних засобах конструктивно поєднано системи і елементи, які у випадку аварійних режимів роботи чи несправностей можуть не лише призвести до дорожньо-транспортної пригоди (ДТП), але й викликати пожежу [1].

В Україні, як і в світі, наявна тенденція до зростання кількості пожеж на транспорті. У більшості випадків такі види пожеж призводять до травматизму та людських жертв. Майже кожна друга пожежа автотранспортних засобів пов'язана із електричним струмом [2]. Електричні пристрої складають значну частину причин пожеж транспортних засобів. Однією з найбільш пожежонебезпечних ділянок у транспортних засобах є силовий провід, який використовується для заряджання акумуляторної батареї. На цьому проводі можуть з'являтися оплавлення, що зазвичай виникають після термічного пошкодження його ізоляції.

Судова експертиза, що стосується вивчення обставин виникнення пожеж у транспортних засобах, є однією з найскладніших серед експертних досліджень. Вона передбачає детальний аналіз інформації, отриманої під час огляду пошкодженого транспортного засобу, а також систематизацію свідчень очевидців. Проведення таких досліджень базується на спеціальних знаннях експертів у таких напрямках: 10.8 – «Дослідження обставин виникнення та поширення пожеж і дотримання вимог пожежної безпеки», 10.18 – «Дослідження технічної експлуатації електроустаткування» та 10.2 – «Дослідження технічного стану транспортних засобів». У сучасних умовах ці експертизи виконуються висококваліфікованими фахівцями в експертних установах.

Цей вид експертної діяльності має свої специфічні особливості, які охоплюють пізнавальні, організаційні, процесуальні аспекти та інші важливі сфери професійного експертного аналізу. Досвід проведення експертних досліджень за цим напрямком показує, що постійне вдосконалення електротехнічної конструкції сучасних транспортних засобів викликає необхідність вдосконалення та розвитку інформаційної бази та створення доступних довідників по

експлуатації, методик проведення експертиз і експертних досліджень електрообладнання.

Згідно із статистичними даними Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2023 році на транспортних засобах сталося 3613 пожеж, що становить 5,3 % від загальної кількості пожеж. Прямі збитки збільшилися в порівнянні з 2022 роком на 67,2 % та становлять 1 млрд 178 млн 687,3 тис. грн (5,1 % від загальної суми прямих збитків). Побічні збитки становлять 2 млрд 209 млн 268,8 тис. грн (зростання у 2,3 раза; 3,7 % від загальної суми побічних збитків). На цих об'єктах загинула 41 людина та 127 людей отримали травми. Загалом, упродовж 2023 року під час пожеж транспортних засобів 2970 од. техніки було знищено та 2661 од. техніки було пошкоджено [3].

За даними [4] у США пожежі на транспортних засобах становлять приблизно 16 відсотків від загальної кількості зареєстрованих пожежних подій у 2018–2022 роках. Ці пожежі спричинили більше смертей серед цивільного населення, ніж пожежі нежитлових будівель і житлових будинків. За оцінками, у 2018–2022 роках у середньому за рік було зареєстровано 119 681 пожежу автомобільного транспорту. На ці пожежі припадає 56 відсотків пожежно-транспортних засобів і 61 відсоток усіх пожежно-транспортних засобів на автодорогах. Вони спричинили в середньому 380 загиблих серед цивільного населення (65 відсотків), 783 поранених серед цивільного населення (59 відсотків) та матеріальні збитки на 765 мільйонів доларів (35 відсотків) [4]. Основними причинами пожеж транспортних засобів аналізуються електричні фактори, механічні фактори, дорожньо-транспортні пригоди, недбалість, підпали, витік газу тощо. Більшість пожеж, за винятком дорожньо-транспортних пригод і підпалів, спричинені конструктивними дефектами та недбалістю управління транспортним засобом.

Так як стверджено у [2] майже кожна друга пожежа автотранспортних засобів пов'язана із електричним струмом. Пожежонебезпечними режимами несправностей електрообладнання транспортних засобів є струмове перенавантаження, коротке замикання та підвищений перехідний опір [5]. Пожежна безпека автотранспортних засобів залежить від надійної роботи всієї системи електрообладнання, її вузлів і агрегатів. Для виникнення пожежі необхідний досить потужний тепловий імпульс, який призведе до нагрівання речовини або матеріалу та спричинить загоряння. Очевидно, що оцінка пожежної небезпеки електрообладнання повинна бути пов'язана з оцінкою теплового нагрівання окремих елементів. Тому необхідно проаналізувати тепловий стан найбільш пожежонебезпечних елементів електрообладнання.

Великий обсяг теоретичних та експериментальних досліджень відносно пожежної безпеки транспортних засобів викладений у працях О. В. Бажинова, М. М. Кравцова, О. В. Лазаренка, А. Ф. Гаврилюка, L. Makovicka, C. Ferrone, та ін. [1, 2, 5–8, 9], де досліджувались основні фактори, що впливають на виникнення пожеж на автомобілях через короткі замикання у бортовій електромережі, вплив аварійних режимів роботи бортових електромереж транспортних засобів та їх пожежонебезпечність, ризики відмови електричних систем тощо. Разом з тим дослідженню пожежонебезпечних режимів роботи бортової електромережі автомобіля на ділянці електричного кола «генератор – акумуляторна батарея» у цих роботах приділено недостатню увагу.

Результати

У зв'язку з урізноманітненням бортових систем автомобілів бортова електромережа транспортних засобів модифікується і розширюється, через що зростає небезпека виникнення пожежі. Відомо, що проводка автомобіля з часом може пошкоджуватися через вібрацію, тертя або вплив навколишнього середовища. Пошкоджені або зношені проводи можуть призвести до короткого замикання, відмови електричних систем або навіть до пожежі. В електротехнічних системах автомобілів, з огляду на досліджувані явища та процеси, електрообладнання на ділянці «генератор – акумуляторна батарея» зазвичай є доволі надійною частиною. У цій системі, за винятком генератора, немає відкритих обертових вузлів, що робить її менш вибагливою в експлуатації. При дотриманні правил використання вона може функціонувати без несправностей протягом тривалого часу та не потребувати значного обслуговування.

Цікаво, що для роботи цього обладнання користувачеві не обов'язково знати всі технічні особливості його конструкції, зокрема електронні комунікації та елементи блоку керування (реле-регулятора) й інші складові. Відсутність цих знань не впливає на надійність його функціонування. Однак для забезпечення стабільної та безвідмовної роботи важливо дотримуватися рекомендацій виробника щодо експлуатації, зокрема щодо режимів заряджання акумулятора та використання накопиченої енергії.

Практика показує, що сучасні транспортні засоби оснащені складними електронними системами регулювання, які мають високий запас надійності та багатofункціональність. Водночас їхня складність може спричинити додаткові ризики, включаючи можливі відмови та несправності, які, у певних випадках, можуть не лише виводити з ладу окремі компоненти, а й створювати загрозу займання. Однією з потенційно пожежонебезпечних зон є силовий провід, який забезпечує зарядку акумуляторної батареї. Термічні пошкодження його ізоляції часто призводять до оплавлення, що може бути хибно інтерпретоване як ознака короткого замикання та помилково визначене як причина пожежі. Згідно з конструктивними особливостями,

коли генератор не працює, струм не повинен проходити через цей провід. Однак виявлені пошкодження ізоляції свідчать про наявність аномальних режимів роботи генератора під час його функціонування.

Як відомо, генератор відповідає за зарядку акумулятора і постачання електроенергії до всіх електричних систем автомобіля під час роботи двигуна. Вал генератора обертається завдяки крутному моменту, який передається від шківів на колінчастому валу двигуна за допомогою клиновидного або поліклинового ремня. Передаточне число клиноремінного приводу становить 1,7–2,5. Під час руху автомобіля частота обертання колінчастого вала на холостому ходу в сучасних двигунах внутрішнього згоряння становить 500–800 об./хв., а максимальна – 4000–5000 об./хв. Відповідно, вал генератора може обертатися зі швидкістю до 8000–10000 об./хв. (5000–6000 об./хв. у дизельних двигунах).

Напруга на виході генератора, відносно маси автомобіля, до якої підключені мінусові контакти генератора та акумуляторної батареї, залежить від швидкості обертання його вала. Чим вона вища, тим більша напруга. Однак електрообладнання автомобіля, зокрема електролампи, контрольно-вимірювальні прилади та блоки керування, розраховані на стабільну напругу 12 або 24 В постійного струму. Для підтримки цього рівня, незалежно від частоти обертання генератора та підключеного навантаження, використовується регулятор напруги.

Якщо частота обертання колінчастого вала двигуна знижується нижче 500–800 об./хв., напруга генератора стає меншою за напругу акумуляторної батареї. У разі незняття батареї з генератора починається її розряд на генератор, що може викликати перегрів ізоляції обмоток генератора та розряд акумулятора. Це стосується систем із генераторами постійного струму. У генераторах змінного струму зниження напруги нижче рівня акумуляторної батареї не спричиняє її розряд, оскільки діодний випрямляч запобігає зворотному протіканню струму (за умови його справної роботи). При збільшенні частоти обертання колінчастого вала генератор знову підключається до системи електрообладнання, що забезпечується реле-регулятором.

Генератор розрахований на певну максимальну силу струму. Проте в разі несправностей, таких як значний розряд акумуляторної батареї чи коротке замикання, він може видавати струм, що перевищує допустиме значення. Тривала робота в такому режимі призводить до перегріву та пошкодження ізоляції обмоток. Для захисту генератора від перевантаження використовується обмежувач струму. Регулятор напруги та обмежувач струму зазвичай об'єднані в єдиний пристрій – реле-регулятор. У генераторах змінного струму окремий обмежувач струму може бути відсутнім, однак у їх конструкції передбачені пристрої, що виконують аналогічні функції.

Використання технологій та електронних компонентів у розробці регуляторів напруги дозволило суттєво зменшити їхні розміри й інтегрувати безпосередньо

в корпус генератора. Генератори змінного струму, оснащені вбудованим регулятором напруги, зазвичай називають генераторною установкою. Однак підвищена насиченість електронними елементами цього електрообладнання збільшує ймовірність його відмов. У деяких випадках такі відмови можуть призводити до аварійних ситуацій, зокрема до займання.

Аналіз пожежі автомобіля Skoda Superb Elegance 1.8 TSI/118kW 7AG, що сталася 21.01.2011 р., показав, що осередок займання розташовувався в зоні головного гальмівного циліндра з вакуумним підсилювачем гальм. При цьому бачок для гальмівної рідини з полімерного матеріалу та гумовий вакуумний шланг повністю вигоріли. На металевому корпусі підсилювача залишилися невеликі сірі плями окалини, а на лівій частині балки замка капота спостерігалися значні термічні пошкодження, які виражалися в повному вигорянні лакофарбового покриття та появі шару іржі. Найбільші пошкодження отримала передня ліва верхня частина корпусу акумуляторної батареї – вона була сильно оплавлена та обвуглена. Плюсова клемка акумулятора повністю розплавилася, а силовий провід, який до неї підключався,

відокремився та залишився висіти попереду батареї. На силовому проводі, що передавав напругу від генератора для зарядки акумулятора, на відстані 10-15 см від клемки залишилися залишки вигорілої ізоляції у вигляді білого попелу. Це місце розташовувалося приблизно за 5 см від переднього лівого кута акумулятора.

Слід зазначити, що тепловий вплив на матеріали і конструкції автомобіля в ході пожежі призводить до формування на них слідів термічних уражень, які специфічні для кожного виду матеріалу. Термічні ураження у більшості випадків спостерігаються візуально, але в залежності від ступеня термічної зруйнованості матеріалу під впливом тепла пожежі можуть і бути не видимі оку і виявлятися за допомогою інструментальних методів і технічних засобів. При поглибленому діагностуванні ступінь термічного ураження будь якого матеріалу слід класифікувати двома основними параметрами-температурою і тривалістю нагрівання. Причому вплив температури є більш істотним ніж тривалість.

На Рисунку 1 представлено частину моторного відсіку досліджуваного автомобіля за результатами експертного огляду.



Рисунок 1. Вид на ліву частину моторного відсіку досліджуваного автомобіля

Джерело: фото авторів

На оголеному силовому проводі (поз. СП), що передавав напругу від генератора до розподільчої рейки для зарядки акумуляторної батареї, відсутні сліди

розплавленого полімерного матеріалу, які спостерігаються на інших плюсових проводах, підключених до цієї рейки (Рис. 2).



Рисунок 2. Фрагмент блоку, в якому встановлені реле та електрозапобіжники у моторному відсіку

Джерело: фото авторів

Експертне дослідження встановило, що причиною пожежі в досліджуваному автомобілі стало теплове вплив електричного струму в осередку займання. Це призвело до загоряння ізоляції проводу, який за конструктивним задумом під час роботи двигуна мав передавати струм від генератора до бортової електромережі. Однак відповідно до технічного рішення, коли генератор не працює (автомобіль перебував на стоянці під час займання), струм через цей провід не повинен був протікати. Проте ознаки перегріву, зокрема в місці болтового з'єднання проводу з розподільчою рейкою, свідчать про наявність аномальних режимів роботи генератора під час його функціонування. Це могло спричинити нагрівання у зоні з'єднання через неякісний електричний контакт. Крім того, експлуатація генератора змінного струму в даному автомобілі вимагала ретельного дотримання правил підключення до бортової електромережі. Ці роботи повинні були бути виконані на заводі-виробнику, оскільки автомобіль був нещодавно придбаний в автосалоні. Наявність значних перехідних опорів у зазначеному з'єднанні суперечить вимогам безпеки щодо використання електрообладнання автомобільної електромережі.

Відомо, що в генераторі змінного струму обертовою частиною є ротор. У генераторах марки Bosch (та більшості аналогічних моделей) ротор виконує функцію електромагніту (індуктора), що створює магнітне поле. Під час його обертання в обмотках статора наводиться електрорушійна сила, унаслідок чого генератор виробляє електроенергію [10]. Напруга до індуктора подається через роторні (колекторні) кільця та щітки. Колекторні кільця – це два мідні (інколи сталеві) кільця, розташовані на задній частині ротора. Вони обертаються разом із ротором і колінчастим валом двигуна. Щітки, виготовлені з бронзографітового матеріалу, притискаються до кілець за допомогою пружин, забезпечуючи безперервний контакт. Завдяки цьому струм передається від нерухомої частини генератора до його рухомої частини.

Нерухомою частиною генератора є статор, що містить ізольовані між собою обмотки, які створюють магнітне поле. Коли ротор обертається, його магнітне поле також рухається, проходячи через котушки статора. Це викликає утворення електричних потоків у статорних обмотках і наведену електрорушійну силу, яка формує змінну напругу, що використовується для заряджання акумуляторної батареї. Оскільки бортова електромережа автомобіля, включно з акумуляторною батареєю, працює на постійному струмі, а генератор виробляє змінний струм, необхідне його перетворення. Для цього використовується діодний блок (випрямляч), розташований у задній частині генератора. Діод є електронним елементом із двома контактами, який пропускає струм тільки в одному напрямку, виконуючи функцію випрямлення. Діодний блок містить дев'ять діодів, з яких три є додатковими. Виводи статорних обмоток з'єднані з основними діодами, які випрямляють напругу для живлення бортової електромережі та зарядки акумулятора. Крім того, ці виводи підключені до трьох додаткових діодів, що забезпечують подачу напруги до регулятора напруги та контрольної лампи зарядки.

Регулятор напруги обмежує вихідну напругу генератора до заданого значення (приблизно 14 В), запобігаючи її надмірному зростанню. Контроль напруги в бортовій електромережі здійснюється через додаткові діоди діодного мосту, що дозволяє регулятору керувати магнітним полем ротора генератора змінного струму. Якщо напруга в бортовій мережі падає нижче допустимого рівня, регулятор збільшує її, посилюючи магнітне поле ротора, яке індукуює більшу електрорушійну силу в статорних обмотках, що призводить до підвищення вихідної напруги генератора. У разі перевищення допустимого рівня напруги регулятор зменшує її, послаблюючи магнітне поле, що, своєю чергою, знижує вихідну напругу генератора, подану на бортову електромережу. На Рисунку 3 представлена схема зарядження акумуляторної батареї автомобіля від джерела живлення, трифазного генератора змінного струму.

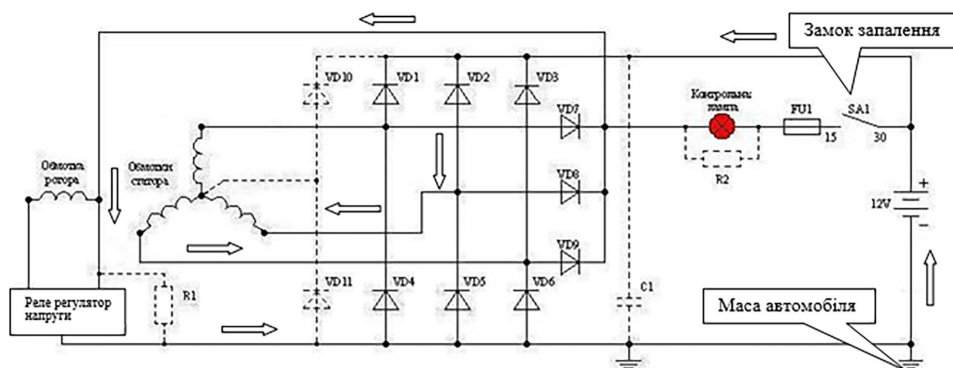


Рисунок 3. Схема зарядження акумуляторної батареї від джерела живлення, трифазного генератора змінного струму на автомобілі

Примітки: → напрямок протікання електричного струму після пошкодження діоду (діодів) діодного блоку та електронних приладів реле регулятора на досліджуваному автомобілі

Джерело: розроблено авторами

Контрольна лампа зарядки, розташована на панелі приладів, виконує не лише функцію індикації несправності генератора, а й забезпечує його запуск, формуючи електричне коло живлення для обмотки збудження при вимкненому двигуні. У разі несправності лампи її функцію частково компенсує паралельно підключений резистор R2 (опором 470 Ом), що допомагає стабільному запуску генератора. Як тільки двигун починає працювати, генератор змінного струму починає виробляти електроенергію. Основні діоди направляють струм до акумуляторної батареї, а додаткові постачають напругу до регулятора напруги. Оскільки контрольна лампа підключена між цими діодами, при справному генераторі різниця напруг між ними наближається до 0 В, тому лампа не горить.

У процесі експлуатації електросистем автомобіля можуть виникати аварійні режими роботи, які поділяються на зовнішні та внутрішні. До зовнішніх належать короткі замикання у ланцюгах живлення або навантаження електромережі. Внутрішні несправності, які є більш різноманітними, зазвичай спричинені пошкодженням діодів випрямного блоку генератора або інших електронних компонентів. Порушення ізоляції, що спричиняють короткі замикання в елементах електрообладнання автомобіля, зазвичай виникають через контакт із гарячими або рухомими деталями, а рідше – внаслідок перетирання об гострі краї конструкційних елементів.

Ще однією, хоча й менш поширеною, причиною загоряння є порушення контакту в роз'ємах силових проводів, що супроводжується іскрінням, перегрівом і подальшим займанням ізоляції. Іноді короткому замиканню або погіршенню контакту передують збої у роботі електрообладнання, тому такі несправності не можна ігнорувати. Рідше трапляються випадки виходу з ладу електроприладів, у яких виникає внутрішнє замикання, особливо якщо вони не захищені запобіжниками. Найчастіше це стосується стартера, реле його приводу або вимикача маси. У таких ситуаціях дроти перегріваються, ізоляція плавиться та може зайнятися. Основними причинами подібних відмов є зношення механізмів і фізичне старіння матеріалів.

Аварії, спричинені виходом з ладу діодів випрямного блоку генератора через електричний або тепловий пробій, зазвичай є найсерйознішими, оскільки супроводжуються протіканням аварійних струмів великої сили в електричному колі, де виникла несправність. Варто зазначити, що пробій діода може призвести як до його перетворення з напівпровідникового елемента на звичайний провідник, так і до розриву електричного кола, в якому він встановлений. На Рисунку 4 представлений діодний блок генератора досліджуваного автомобіля з наслідками пожежі.

На Рисунках 5 і 6 представлено процес вимірювання провідності діода генератора вивід якого від'єднаний від його корпусу.



Рисунок 4. Діодний блок (випрямлювач), що був встановлений у генераторі змінного струму автомобіля, який досліджується

Джерело: фото авторів



Рисунок 5, 6. Процес вимірювання провідності діоду, вивід якого від'єднаний від його корпусу

Джерело: фото авторів

Слід відзначити, що зазначені електроприлади можуть спричиняти підвищення температури у разі виникнення аварійного режиму при протіканні через них електричного струму. Тому під час цих досліджень

був детально проаналізований ступінь пошкоджень діодного блоку, реле напруги та частково розібраного генератора, який був встановлений на досліджуваному автомобілі (Рис. 7).

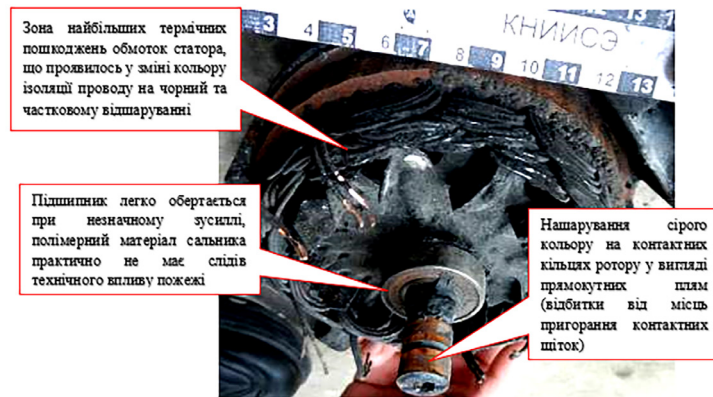


Рисунок 7. Генератор змінного струму, що був встановлений на досліджуваному автомобілі (задня кришка знята)

Джерело: фото авторів

На діодному блоці (випрямлячі), що був встановлений у генераторі досліджуваного автомобіля, контактні пластини виводів діодів не мають нашарувань кіптяви, яка присутня на вивідних дротах. Це свідчить про значний рівень їх нагріву на момент пожежі, оскільки кіптява не залишилась на цих пластинах. На одному з діодів зазначена пластина відокремилась від корпусу. За допомогою мультиметра була виміряна електропровідність усіх діодів, і виявилось, що цей діод з напівпровідника перетворився на провідник електричного струму (відбувся його пробій), а інші діоди не мали електропровідності (перегоріли). Це свідчить про протікання струму високої сили через ці діоди, що стало можливим через їх пробій до виникнення пожежі в автомобілі.

На частині проводів обмоток статора генератора змінного струму, встановленого на досліджуваному автомобілі, виявлено зону найбільших термічних пошкоджень. Це проявилось у зміні кольору ізоляції проводу на чорний та частковому її відшаруванні. На контактних кільцях ротору генератора спостерігаються нашарування сірого кольору у вигляді прямокутних плям, що є відбитками від пригорянь контактних щіток. Це свідчить про протікання електричного струму через обмотку індуктора ротора генератора, коли ротор не обертався. Водночас задній підшипник ротора обертається легко при незначному зусиллі, а полімерний матеріал зовнішнього сальника цього підшипника майже не має слідів термічного впливу від пожежі (Рис. 7), що вказує на невеликий рівень термічного впливу на нього. Отже, описані термічні пошкодження зазначених частин генератора досліджуваного автомобіля стали наслідком протікання надмірного електричного струму через ці ділянки, а не через вплив пожежних факторів на сам генератор.

Висновки

Отже, під час роботи двигуна, через поганий контакт між клемою силового плюсового проводу, що йде від плюсового виводу генератора, та місцем його з'єднання з розподільчою рейкою плюсових проводів, через незатягнуту гайку у цьому з'єднанні, відбулося підвищення напруги на обмотках статора генератора. Це сталося через те, що регулятор напруги в бортовій мережі автомобіля, через великий перехідний опір у цьому з'єднанні, не отримував необхідних значень напруги, які згідно з конструкцією електричного обладнання повинні були обмежуватись.

Згідно з результатами проведеного дослідження, було встановлено, що причиною пожежі в досліджуваному автомобілі стала теплова дія електричного струму в місці виникнення пожежі, що призвело до займання ізоляції проводу, по якому, згідно з конструкцією, під час роботи двигуна внутрішнього згорання, мав подаватись струм від автомобільного генератора до бортової електричної мережі. Причиною нагріву місця з'єднання проводу з розподільчою рейкою стало неналежне встановлення контакту між клемою проводу та точкою його приєднання до рейки через незатягнуту гайку в цьому з'єднанні. Процес подачі струму, який спричинив аварійну ситуацію, відбувався від акумуляторної батареї до однієї з фазних обмоток генератора (у зворотному напрямку) при вимкненому двигуні автомобіля, в результаті пробою силового діода (діодів) випрямляючого блоку, що був встановлений в цьому генераторі, а також через вихід з ладу електронних компонентів реле регулятора напруги. Пробій діода стався через підвищення напруги на обмотках статора генератора при працюючому двигуні, яке було викликане поганим електричним контактом у з'єднанні силового проводу з розподільчою рейкою.

Це призвело до того, що не відбулося своєчасне обмеження зарядного струму шляхом зменшення напруги на обмотці збудження генератора (індукторі), оскільки регулятор напруги у бортовій мережі автомобіля не отримував необхідних значень напруги через великий перехідний опір у цьому з'єднанні струмоведучих елементів, що за конструктивним рішенням автомобіля мало обмежуватися.

З огляду на зазначене, можна зробити обґрунтований висновок, що різноманіття сучасних транспортних засобів іноземного виробництва та постійне

вдосконалення їх електротехнічної конструкції вимагають удосконалення та розвитку інформаційної бази, а також створення доступних довідників, що містять інформацію щодо експлуатації, методик проведення експертиз та досліджень електрообладнання сучасних транспортних засобів. Адже тільки за умови встановлення судовими експертами фактів наявності аварійних та наднормативних режимів у роботі цих засобів, органи суду та досудового слідства отримують можливість ухвалювати обґрунтовані рішення, що стосуються встановлення дійсних обставин події.

Список використаної літератури

- [1] Gavrilyuk, A.F. (2018). *Fire hazard of wheeled vehicles*. Lviv: LDU BZHD.
- [2] Bazhynov, O.V., & Kravtsov, M.M. (2022). *Danger of vehicles*. Kharkiv: IE L.A. Starichenko.
- [3] Analytical report on fires and their consequences in Ukraine for 12 months of 2023. (2024). Retrieved from <https://dsns.gov.ua/upload/2/2/8/5/5/7/2/12.pdf>.
- [4] Gavrilyuk, A.F., & Lyn, A.F. (2017). *Fire protection of wheeled vehicles and ways to improve it*. *Fire Safety: Scientific Collection*, 31, 11-16.
- [5] Makovicka, L., & Svetlik, J. (2007). Fire of personal motor vehicle. *Badania i Rozwoj*, 3, 117-121.
- [6] Lazarenko, O., Loik, V., Shtain, B., & Riegert, D. (2018). Research on the fire hazards of cells in electric car batteries. *Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza*, 52(44), 58-67. doi: 10.12845/bitp.52.4.2018.7.
- [7] Bykov I.M., & Lazarenko O.V. (2019). Fire fighting and other emergency work in electric cars. *Fire Safety*, 34, 54-58. doi: 10.32447/20786662.34.2019.09.
- [8] Ferrone, C., & Sinkovits, C. (2006). Fire and explosion investigations: Why heavy trucks may burn. In *ASME 2006 International mechanical engineering congress and exposition* (pp. 49-58). Chicago: American Society of Mechanical Engineers. doi: 10.1115/IMECE2006-13305.
- [9] Pyndus, Y.I., & Zaverukha, R.R. (2016). *Electrical and electronic equipment of cars*. Ternopil: TNTU.

Oleksandr Shmereg

Head of the Sector

State research and forensic center of the ministry of internal affairs of Ukraine

01601, 10 Bogomolets Str., Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0009-0006-2870-700X>

Serhiy Chuiko

Doctor of Philosophy, Associate Professor

State University "Zhytomyr Polytechnic"

10005, 103 Chudnivska Str., Zhytomyr, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-7052-5158>

Serhii Tsymbal

PhD in Technical Sciences, Associate Professor,

Vinnitsia National Technical University

21021, 95 Khmelnytske Shose Str., Vinnitsia, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-3066-4169>

Particularities of conducting emergency processes in electrical transportation facilities at the electric stake dalliance: Generator – battery

Abstract. The article presents the results and identified problems in the context of conducting comprehensive expert investigations into emergency conditions and the operation of electrical equipment of transport vehicles in the electric stake area: generator – rechargeable battery. Electrical devices are a significant part of the causes of fires in transport vehicles. All electrical devices in the car are connected to the main power supply, battery and generator, through additional wiring. the structure of electrical wiring consists of a conductor, which transmits electrical signals, and an insulator, which releases the conductor. Basically, the shape and structure of the conductor, as well as the thickness of the insulator, are divided differently depending on the difference in the permissible flow. It is therefore not safe to adjust the connector that connects a number of electrical devices to one device, or it is inadvisable to connect external wiring to connect several electrical devices. If the re-engineering is blocked, which exceeds the permissible flow at the lance, there may be a short-circuit in the electrical wiring and damage to the insulation due to overheating, which can lead to a direct risk of seizing the car. It is common knowledge that among the most common causes of fires are wiring faults, which most often lead to a short circuit. If the insulation is damaged for these and other reasons, the exposed parts of the wires have the potential to come into contact with each other or with the "mass" of the car. the darts, as a result of the flow of a short flow through them, which is too great for passing through this crossbar, begin to heat up. Due to the high temperature, the insulation melts and ignites, along with adjacent parts made of plastic and other flammable materials. Based on the results of the investigation, it was established that the cause of the fire in the monitored car was the manifestation of the thermal effect of an electric shock in the installed core, which called for the insulation of the wire along which we will make constructive decisions during the operation of the internal combustion engine installed on the vehicle, so that a stream is supplied from the vehicle generator to the on-board electrical system. The diversity of current transport means of foreign production and the constant development of their electrical design necessitates the need for thorough development of the information base. creation of available operating evidence, methods of conducting examinations and expert investigations of electrical equipment

Keywords: fire safety; transport equipment; generator; fire; ship examination