

**ИНЦИДЕНТИ СЪС ЗАПАЛВАЩИ СЕ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ
АВТОМОБИЛИ ПРИ ПЪТНО ТРАНСПОРТНО
ПРОИЗШЕСТВИЕ**

проф. д-р инж. Радостин Долчинков
доц. д-р инж. Камен Сейменлийски
инж. Иван Попов
Бургаски свободен университет

**INCIDENTS WITH FLAMMABLE ELECTRIC VEHICLES
IN A TRAFFIC ACCIDENT**

Prof. Dr. Eng. Radostin Dolchinkov
Assoc. Prof. Dr. Eng. Kamen Seimenliiski
Eng. Ivan Popov
Burgas Free University

***Abstract:** The deviation of cells in the battery is likely to lead to a short circuit in one or more cells, which will generate heat and it is possible to ignite the chemical elements in the cell. The flames from one cell quickly spread to other cells in the battery and this led to an explosion that endangered the lives of passengers. Even if no one is injured by a burning battery of an electric car, the fire releases harmful substances into the air, which are toxic and should not be inhaled without a protective mask with a filter.*

***Key words:** generate heat, protective mask with a filter.*

По време на спасителни операции свързани с електроавтомобили се характеризират три групи риск: електрически, термален, и химичен риск. Когато се активират въздушните възглавници или сензорите за удар на електроавтомобил, тогава батерията се разкача от системата за предвижване на автомобила. Мерки за деактивиране на батерията като разтоварване на кондензатора за постоянен ток (DC-link Capacitor) на инвертора със специален резистор и даване на късо съединение към ротора, правят електроавтомобила сравнително безопасен от електрическа гледна точка. Но, при контакт с някой от полюсите на батерията или клетки с частично късо съединение, може да доведе до електрически шок или искрене, защото се затваря електрическата верига. Това може да доведе до тежки последствия и пожар, затова е важно спасителните служби да държат дистанция от кондуктори като оранжеви кабели и батерията на автомобила при спасителни операции. Един електроавтомобил няма никакви признаци за липса на напрежение и следователно при ръчно изключване на системата с високо напрежение трябва да се изпълнят указанията на производителя.



Термални рискове могат да възникнат електрически от високи токове на късно съединение, химически от енергията в клетките на батерията или с контакт от външен източник като огън и други горещи компоненти. Ако клетъчната температура на батерията стигне по-голяма от максималната оперативна температура, то може да се получи екзотермична реакция в клетките. Тези реакция води до процеса на термично бягство (Thermal runaway), който довежда до постоянно увеличаване на температурата на батерията и нейното възпламеняване.

Появата на термично бягство е възможно да се случи веднага след инцидент или с закъснение или изобщо да не се появи – зависи от състоянието и щетите на батерията. Вторият и трети случай са доста трудни за разпознаване. По време на тестване със страничен удар, автомобила Chevrolet Volt е минал първоначално теста с добри резултати. Обаче, този тест е имал лоши последици в бъдеще. Три седмици след теста, батерията на складираният автомобил претърпяла термично бягство и се възпламенила. Времето, което е необходимо да се потуши възпламенил се електроавтомобил е възможно да надхвърли кислородните запаси на пожарникарите.

Пожарът трябва да гаси от разстояние и да се използва спрей струя (1 метър разстояние между пожарниката и автомобила) или пълна струя (5 метра разстояние между пожарниката и автомобила).

Химични рискове се появяват при изпускането на замърсители и други вредни вещества от клетките на батерията. Също така, възможно е да изтече леснозапалим и корозивен електролит в газова или течна форма. Електролита в литево-йонните батерии се съставя от електролитни соли, органични карбонати като разтворител, и добавки. Литиев хексафлуорофосфат (LiPF_6) и литиев тетрафлуороборат (LiBF_4) са основните видове електролитни соли. Анионът хексафлуорофосфат (PF_6^-) позволява на клетките да издържат на високо напрежение и предоставя дългосрочна стабилност на батерията. Обаче, ако анионът има контакт с вода или влажен въздух, той се разпада в токсична флуороводородна киселина (HF) по химична формула.

Поради този аспект, е важно клетките на батерията да са запечатани и да не позволяват въздух да влиза. Възможни последици от пътностранспортно произшествие са деформации по батерията, модулите ѝ или клетките ѝ, което може да позволи вода или въздух да влязат и да се получи формация на флуороводородна киселина (HF). Този вид киселина е токсична, корозивна, силно реактивна, и причинява сериозни здравословни проблеми, които могат да са фатални. Молекулярната HF е в течна форма до $20\text{ }^\circ\text{C}$ и се превръща в газова форма над тази температура. Директен контакт с HF може да доведе до изгаряния и щети по кожата. Дори малко количество HF е възможно да причини болезнени изгаряния. Ако очите на човек имат контакт с HF, има вероятност да пострада зрението. Инхалацията на HF води до проблеми с дишането, носа, и белите дробове. Когато HF попадне по дрехи, те трябва веднага се изхвърлят или почистят, защото кожата може да абсорбира киселината от дрехите. Контакт с HF е възможно да няма признаци веднага, а да има последици със закъснение.

За да се защитят пожарникарите при работа със запалил се електроавтомобил е важно да са с подходящо облекло. Това облекло трябва да има устойчивост към химикали, топлина и пламъци. Облеклото се комбинира с шлем, маска, щит за лицето, кислородна бутилка, ръкавици, кожени обувки с висока защита, и специален колан, за да се постигне пълна защита на пожарникарите.

Указания за действията на противопожарните служби при инцидент с електрически автомобил.

1. Приемане на обаждане.

След като автомобил е катастрофирал, задължение е на всеки гражданин в България да окаже първа помощ. Важна част от първа помощ е да се пусне обаждане към спешните служби на номер 112. От 2018 година, всеки автомобил продаден в Европа е задължен да има система за автоматично пускане на обаждане (eCall system) към 112 при инцидент.

Системата eCall може да се активира ръчно, но големият ѝ плюс е, че пуска обаждане автоматично като сензорите за удар или въздушните възглавници на автомобила се активират. При обаждане от eCall система се изпраща и информация за автомобила под формата на минимален набор от данни, определени в стандарта DIN EN 15722. След успешно приемана на данните се установява аудио връзка с автомобила. Ако пасажерите са контактни, ще се общува с тях до пристигане на службите. На фиг. 1. са изобразени данните, които предава eCall на диспечера при удар с автомобил. Работата на диспечера, който приема обаждането е да информира и координира службите за бърза реакция. Пожарникарите получават информация за инцидент по радио съобщение и информация за задвижващата система на автомобила по имейл. Времето за реакция на пожарникарите трябва да бъде от 5 до 20 минути в зависимост от местоположението на инцидента.

<i>Стандартен информационен блок</i>	<i>Допълнителен информационен блок</i>
<ul style="list-style-type: none"> - Автоматично или ръчно активиране. - Тестова обаждане (Да / Не). - Конфиденциалност на позицията. - Вид на автомобила. - Номер на автомобила. - Тип съхранение на енергия (вид на задвижване). - Времеви печат. - Позиция на автомобила. - Посока на пътуване. - Брой пътници (по избор). 	<p align="center">Съдържанието се определя от производителя на автомобила.</p>

Фиг.1. Съдържание и брой байтове на информация за инцидент по стандарта DIN EN 15722.

1.2. Индентификация на превозното средство.

Разлика между автомобили с двигател с вътрешно горене и електроавтомобили като хибриди и напълно електрически се изразява като важен фактор за цялата спасителна операция защото определя какви мерки ще се използват за изпълнение. По време на операция не е лесно да се определи от пръв поглед какъв модел на задвижване има автомобила. Елементи като стикери за високо напрежени, марката, дизайнерски



черти, контакт за зареждане, и липса на ауспуси са признаците, по които трябва да се определи вида на автомобила.

1.3. Категории ПТП с електроавтомобил и мерки за предприемане.

Трите основни категории ПТП с електроавтомобил са без огън (БО), излизане на дим (Д), и пожар (П). Когато има пожар трябва да се определи източника на пожара, докато ако има само дим, трябва да се огледа състоянието на батерията. За състоянието на батерията, при всички ситуации, могат да се използват следните абривиатури:

- Без пожар и безопасна (**БО-О**) – При това състояние спасителната операция може да започне веднага или ако няма пострадали хора се изчаква 1 час преди да се започне преместването на автомобила.
- Повредена батерия и се очаква пожар (**ОП-ПБ**) – При това състояние трябва профилактично да се охлади батерията.
- Повредена батерия и има пожар (**П-ПБ**) – При това състояние се образува процеса на термално бягство и трябва да се охлади батерията по най-бързия начин защото може да експлодира ако не се реагира навреме.
- Автомобилен пожар, но батерията не е засегната (**П-Б**) – При това състояние се използват стандартните методи за потушаване на пожар.

Следните анализи могат да се използват при изследване на състоянието на батерията, когато пожарникарите са на мястото на произшествието:

- ✓ Оптичен анализ – Визуалната инспекция на автомобила е първото нещо, което трябва да направят пожарникарите след пристигане. След като се установи, че автомобила е електрически следва да се огледа състоянието на батерията. Трябва да се разбере дали кутията на батерията е деформирана, дали има теч на електролит и какъв цвят е дима на пожара. Индикация за горящ електролит е бял дим, а горенето на графит има сив дим.
- ✓ Акустичен анализ – Поради наптрупване на налягане в клетките на батерията от огън или деформация, ще се чуват различни звукови сигнали, когато налягането излиза. Звуковите сигнали са съскане и пукане.
- ✓ Газов анализ – Първичен признак за течащ електролит е сладък подобен на резтворител мирис. За анализ на гозовите във въздуха могат да се използват портативни системи за измерване на частиците в околната среда.
- ✓ Термичен анализ – Температурата на литиево-йонната батерия е добър индикатор за състоянието ѝ. Два начина да се измери температурата е да се закачат термодвойки (thermocouples) за батерията или да се използва инфрачервена термална камера. Използването на инфрачервена камера е проблемно защото трябва да се измери температурата от долната страна на автомобила. Металната повърхност на кутията на батерията отблъсква слънчеви лъчи и това може да доведе до грешни резултати. Два проблема, които засягат и двата метода са времето необходимо да се направи измерване и внезапното изгубване на показанията. Добре решение е да се използва комбинация от двата метода. При измерване далеч с инфрачервена камера трябва да се нагласи да не сочи към повърхност, която отблъсква лъчи. Това показание се сравнява с това на термодвойката и се стига до заключение.

1.4. Гасително копие.

Изолирано копие може да се използва да се помпи вода в батерията. Обаче, това може да причини късо съединение в системата, ако не се използва правилно. Копието трябва да служи да се пробие отвор в батерията на подходящо място според спецификациите на автомобила. Обикновено, батерията се намира под задните седалки и трябва от вътре в автомобила да се пробие, а не отвън. Страничните и долните страни на батерията са много по-трудни за пробиване. Има случаи където производителят не е дал точно място за пробиване и при използване на копие може да се доведе до опасна ситуация. А при други случаи, производителят е използвал здрава стомана за кутията на батерията и тя не може да се пробие. Преди да се използва копието, пожарникарите трябва да знаят добре спецификациите на автомобила. Копието не трябва да се използва ако няма признаци на пожар в батерията.

1.5. Допълнителни мерки за предприемане.

След като се потуши огъня, трябва да се гледа състоянието на изгореният автомобил. Дори и батерията да изглежда невредима отвън, химикалите в нея могат да предизвикат появата на втори пожар. Трябва да се използва възможно най-много количество вода да се охлади батерията. Средно се използват между 9-12 m³ да се овладее горящ електроавтомобил. За целта се използва предимно чешмяна вода, защото е най-достъпна. Водата и водната мъгла имат най-добри качества за гасене на пожар от литево-йонна батерия. Водната мъгла охлажда много добре батерията и почиства въздуха от вредни химикали. Използване на добавката F-500 във водата ще намали времето за гасене, нужното количество вода, и ще предпази от повторно възпламеняване.

Ако състоянието на батерията е критично след гасене на пожара, то ще е разумно да се използва контейнер за гасене. Този контейнер служи да изолира батерията от околната среда и да не позволява да има течове навън. Като се напълни с вода, контейнера тотално ще спре термалното действие на батерията. Контейнерът може да се използва на мястото на инцидента, но по-добър вариант е след транспортирването на автомобила от мястото на инцидента. Трудно се транспортирва автомобил с пулен контейнер поставен на батерията.

1.6. Транспортиране на загасеният автомобил.

Транспортирването на загасеният автомобил трябва да се изпълнява от квалифицирани лица. Преди започване, системата с високо напрежение трябва да бъде деактивирана и автомобила не трябва да е в критично състояние. При предаване на автомобила, трябва да се даде информация за неговите характеристики:

- Хибридна или напълно електрическа задвижваща система.
- Мерките предприети от пожарникарите.
- Състоянието на системата с високо напрежение.
- Потенциални рискове от повредена системата с високо напрежение.
- Батерията има ли контакт с вода.
- Има ли риск от електрически шок.
- Възможно ли е повторното запалване на задвижващата система.

Възможни дестинации за повреденият автомобил:

- Не е имало пожар и батерията е безопасна – При тази ситуация автомобила се води за ремонт.



- Автомобилът е горял, но батерията не е засегната – При тази ситуация автомобила може да се води за ремонт ако не са пострадали другите компоненти и пожара е бил минимален, иначе се поставя в зона под карантина и се следи състоянието на батерията. Ако автомобила не може да се поправи, но батерията и други компоненти са в добро състояние, тогава те се рециклира.
- Автомобила е горял и батерията е засегната – При тази ситуация автомобила се поставя в зона под карантина и се следи състоянието на батерията. Всички оцелели компоненти от пожара се рециклират.

Могат да се използват специални контейнери за складиране на повредени от пожар електроавтомобили. Тези контейнери могат лесно да се напълнят с вода ако повторно се запали автомобила и служат за лесно транспортиране когато не са пълни с вода. Проблемът на тези контейнери е, че са финансово много скъпи и трудно се изпразват ако са пълни с мръсна вода поради течове от батерията или пожар. Отстраняването на мръсната вода трябва да се случи по екологично чист начин.

Задача	Място на изпълнение	Регулация	Квалификация	Процеси	Взети материали
Премахване на батерията	Компании за рециклиране	В България и ЕС няма регулация	Ниво 2 – Не съдържа работа с ток	Деактивация, проверка за наличие на напрежение, премахване	Литево-йонна батерия
Разглабяне на автомобила	Сертифицирани места за разглабяне	EU End-of-Life Vehicles Directive 2000/53/EC; EU Waste Directive 2008/ 98/EC	Съответно обучение	Отстраняване на течности, разглабяне на опасни компоненти, премахване на шасито	Стомана, мед, леки и скъпоценни метали, стъкло, пластмаси гуми, масла
Разглабяне на батерията до модулно или клетъчно ниво	Компании за рециклиране	В България и ЕС няма регулация	Ниво 3 – Работна среда с наличие на високо напрежение	Разглабяне на модулите, работа с робот за разглабяне	Медни шини, кабели, печатни платки, пластмаси
Рециклиране на клетъчно ниво	Компании за рециклиране на батерии	EU Directive 2006/66/EC за отпадъци от батерията	Съответно обучение	Пирометалургичен	Никел, кобалт, мед
				Пирометалургичен и Хидрометалургичен	Никел, кобалт, литий

Табл.1 – Рециклиране на различните компоненти от електроавтомобил пострадал при пътнотранспортно произшествие. [2]

Всеки дизайн на електроавтомобил варира от производител до производител. Трябва да се използват роботи за по-добра среда на работа. След прехаване на всички модули и клетки на батерията, те могат да се използват повторно ако нямат повреди по тях или да се рециклират за използване в производството на нови батерии. От икономическа и екологична гледна точка, рециклирането на електроавтомобили спестява много средства и намалява замърсяването. Европейският Съюз задължава всяка батерия от електроавтомобил да е на поне 50% рециклирана.

2. Бъдещи перспективи.

2.1. Доставка на информацията за задвижващата система на автомобила.

Целта на диспечера е да изпрати информация свързана с задвижваща система на автомобила до спешните служби. Тази информация се изпраща по радио, но в близко бъдеще ще е добре да започне да се използва дигитален начин на изпращане. Ако използват дигитално устройство, пожарникарите ще могат да получават нова информация за автомобила много бързо и ще могат да следят допълнителна информация за батерията в реално време.

2.2. Определяне на състоянието на батерията.

Един от основните проблеми на пожарникарите след пристигане на мястото на инцидента е определяне състоянието на батерията, особено ако е видимо повредена, но няма излизащ дим или пламък. Този период трябва да продължи 1 час преди автомобила да се предаде кум други спешни служби. Също така, понякога е трудно да се определи дали батерията е засегната ако автомобила гори. Всяка батерия съдържа система, която следи нейното състояние, температура и напрежение, но тази информация е достъпна само до производителя на автомобила. Дори да се използва уред за диагностика, тези данни са недостъпни. В бъдеще ще е добре да се разработи стандарт, който да позволява на пожарникарите да влизат в системата на батерията и да правят диагностика лесно и от разстояние.

2.3. Използване на гасително копие.

Повече нови електроавтомобили не са проектирани за използване на пожарни-карска техника в случай на инцидент. Гасителното копие е много добър уред за охлаждане и гасена на батерия, но ако не се използва на правилното място може да влоши положението. Батериите на всеки електроавтомобил в бъдеще ще е добре да имат маркировка къде могат да се пробият от гасително копие в случай на пожар.

Литература:

1. <https://www.seattletimes.com/business/tesla-says-car-fire-began-in-battery-after-crash/>
2. <https://www.reuters.com/article/autos-tesla-fire-idUSL2N0IS0TL20131107>
3. <https://www.dailynews.com/2015/06/23/man-who-died-in-fiery-malibu-canyon-crash-of-tesla-is-53-year-old-from-calabasas/>
4. <https://www.nbctv.com/news/local/stolen-tesla-high-speed-chase-fiery-crash-in-west-hollywood/1994816/>
5. <https://www.dailymail.co.uk/news/article-3908700/Two-people-killed-Tesla-crash-Indianapolis.html>
6. <https://www.nbctv.com/news/tesla-lake-forest-home-fire/22740/>



7. <https://www.digitaltrends.com/cars/tesla-autopilot-fatal-crash-warnings-ignored/>
8. <https://www.scmp.com/news/world/united-states-canada/article/2152644/tesla-model-s-caught-fire-florida-hit-speed-116-mph>
9. <https://www.digitaltrends.com/cars/tesla-model-s-driver-dies-in-fire-door-handles-fail/>
10. <https://www.lakemchenrscanner.com/2019/12/19/tesla-suv-catches-on-fire-after-head-on-crash-in-barrington/>
11. <https://insideevs.com/news/342898/tesla-model-x-driver-survives-horrific-crash-fire-video/>
12. <https://abc7news.com/paseo-padre-parkway-fremont-tesla-crash-on-car-fire/5143718/>
13. <https://insideevs.com/news/332164/driver-walks-away-unharmd-after-big-rig-rear-ends-tesla-model-s/>
14. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1317419/FULLTEXT02.pdf>
15. <https://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-4997486/35-firefighters-tackle-enormous-Tesla-Model-S-fire.html>
16. <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1317419/FULLTEXT02.pdf>
17. <https://www.rt.com/russia/466247-tesla-blast-moscow-injured/>
18. <https://www.reuters.com/article/us-tesla-netherlands-idUSKCN11D28Z>
19. <https://www.japantimes.co.jp/news/2018/05/17/business/swiss-prosecutors-investigate-fatal-tesla-crash-suspect-thermal-runaway-battery/>
20. Plamen A. Angelov, "Low frequency measurement and control of the load impedance", ICEST 2008, 25 - 28 June 2008, Serbia Nis, ISBN: 978-86-85195-61-7, Том 1, стр. 615-618.
21. Kamen Seymenliyski, Eldar Zaerov, Radoslav Simionov, Silviya Letskovska, Reducing The Environmental Impact Of Electrical Installations, International Conference on High Technology for Sustainable Development (HiTech 2018) Sofia, Bulgaria 11-14 June 2018, IEEE Catalog Number: ISBN: 978-1-5386-7040-8, p.206-209