

## Как и чем тушить электромобили? (Сравнительный анализ способов тушения пожаров электромобилей)



Авторы:

*С.Г. Аубакиров, генерал-майор  
противопожарной службы, к.т.н.  
Директор Центра по чрезвычайным  
ситуациям и снижению риска  
стихийных бедствий.*

*Р.М. Джумагалиев, к.т.н., профессор  
Директор ТОО «GFP Science».*

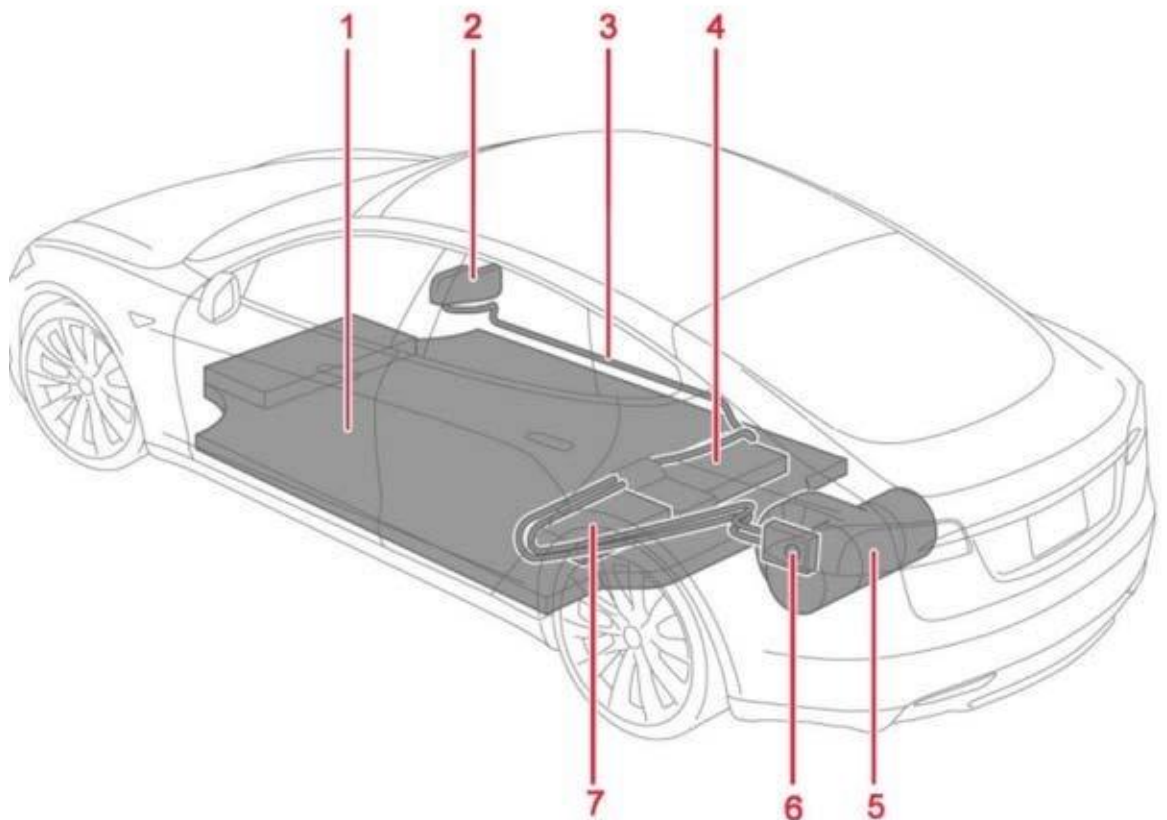


Результаты научно-технического прогресса, призванные служить людям, своей обратной стороной могут наносить большой социально-экономический ущерб и даже приводить к травматизму и гибели людей. Примером таких проявлений множество. На пример, авария на Чернобыльской АЭС. Современным проявлением негативного проявления новой техники и технологии является пожарная безопасность электромобилей.

В своем выступлении в октябре 2024 года, Президент Республики Казахстан К-Ж.К. Токаев сказал, что, страны с развитой наукой и технологиями являются мировыми лидерами, и мы, чтобы не остаться на обочине прогресса, должны стать нацией технократов. Такая установка Главы государства и политика Государства в части внедрения в обществе экологических видов транспорта ставит задачу перед Государственной системой обеспечения пожарной безопасности выработки на основе результатов соответствующих исследований реальных шагов на возникающие риски, связанные со всеми жизненными циклами электромобилей.

В отличие от традиционных автомобилей, методы и стратегии тушения пожаров в электромобилях имеют свои особенности. Как и в случае с обычными автомобилями, основным подходом является использование воды для тушения. Если не учитывать горение силовой аккумуляторной батареи, то горение самого автомобиля и соответственно тактики тушение пожара мало отличается от автомобиля оборудованного двигателем внутреннего сгорания. Более того, потенциал горючей нагрузки электромобиля ниже традиционного, из-за отсутствия жидкого топлива, охлаждающей жидкости и смазочных материалов. Если применение воздушно механической пены является обыденным при тушении автомобилей с двигателем внутреннего сгорания, то при пожарах электромобилей компания Tesla не рекомендует применять пену. Если в пожар вовлечено горение аккумуляторной батареи, ключевой задачей становится её охлаждение для предотвращения, замедления или прекращения теплового разгона (***ценная реакция внутри батареи, которая приводит к быстрому повышению температуры и давления***). Важно снизить температуру соседних элементов батареи до уровня ниже критической точки воспламенения, чтобы минимизировать дальнейшую передачу тепла. Эта задача усложняется наличием металлического корпуса, который защищает батарею.

1. Аккумулятор;
2. Преобразователь тока;
3. Высоковольтные кабели (оранжевого цвета);
4. Встроенное основное зарядное устройство мощностью 10 кВт;
5. Приводной блок;
6. Порт зарядки;
7. Бортовой ведомый блок мощностью 10 кВт., зарядное устройство.



*Стандартное расположение высоковольтных компонентов.*

Остановить процесс теплового разгона крайне сложно, так как это требует интенсивного и точечного охлаждения каждого отдельного элемента батареи. Кроме того, использование лития в аккумуляторах может привести к взрывоопасным реакциям, связанным с выделением горючих газов во время горения лития. В первую очередь, это водород и метан.

Производители электромобилей прилагают усилия для совершенствования конструкции батарей с точки зрения их безопасности и создания условий для работы пожарных подразделений. Так на пример, в электромобилях Tesla, таких как Model 3 и Model Y, применяется сравнительно простой метод для предотвращения или замедления теплового разгона аккумулятора. Батарея заключена в стальной корпус, но нижняя часть состоит из тонкой алюминиевой пластины. При повышении температуры вследствие теплового разгона пластина расплавляется при достижении критических точек (температура плавления алюминия около 660 °C), что позволяет отдельным элементам батареи выпадать из корпуса.

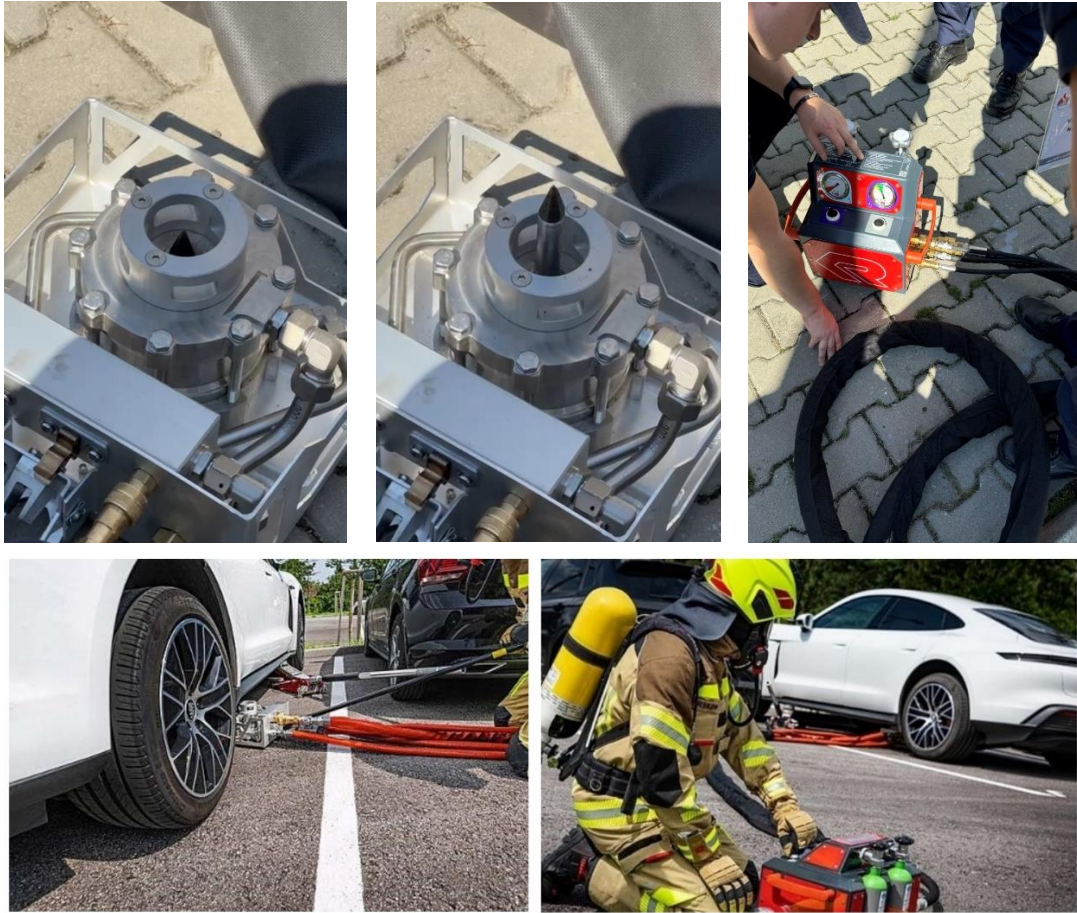
Эта конструктивная особенность облегчает тушение по сравнению с другими типами электромобилей. При реальном пожаре электромобиля плавление алюминиевой пластины позволило ячейкам батареи упасть на землю, после чего пожарные сосредоточили усилия на локализации очага возгорания вне автомобиля. Хотя автомобиль был полностью уничтожен огнём, основная цель такого решения — это предотвратить распространение огня на кузов до того, как батарейные элементы попадут на землю.

Большинство производителей электромобилей в своих руководствах по реагированию на пожары и чрезвычайные ситуации рекомендуют стратегию тушения, основанную на интенсивном охлаждении батареи большим количеством воды. Однако существуют и другие методы, которые помогают предотвратить эскалацию теплового разгона. Далее будет рассмотрен ряд рекомендованных и применяемых способов тушения пожаров электромобилей. На этой стадии, мы говорим больше степени и пожарах на открытой местности. В дальнейшем будет рассмотрена эта проблема применительно к пожарам на закрытых стоянках, исследования динамики опасных факторов пожара и в части тактики тушения, а также для разработки проектных решений по обеспечению пожарной безопасности.

### **Охлаждение водой мобильными средствами противопожарной службы**

Традиционный способ охлаждения аккумулятора при тушении пожара — использование большого объема воды. Для эффективного охлаждения воду необходимо направить непосредственно на батарею, что на практике может быть затруднено. Аккумулятор обычно размещается в нижней части автомобиля и защищён прочным металлическим корпусом, предотвращающим повреждения. Однако в случае пожара такая защита может осложнить подачу воды к горящим элементам. Для успешного охлаждения требуется подача воды, от водоисточника расположенного максимально близко к месту пожара. На открытых участках дорог это представляет проблему, так как стандартный пожарный автомобиль в Казахстане вмещает лишь около 2 м<sup>3</sup> воды.

На городских магистралях, оборудованных системами наружного водоснабжения, таких сложностей не возникает. Согласно рекомендациям, объёмы запасов воды должны обеспечивать подачу 20 л/с на протяжении 90 минут, что эквивалентно 108 м<sup>3</sup> воды. Это соответствует более 50 пожарным автоцистернам при отсутствии внешнего источника водоснабжения. В настоящее время имеются разработки специальных технических средств для подачи воды под днище электромобиля под аккумуляторной батареей. Наиболее известными являются изделия компании Rosenbauer. Это устройство малой толщины, устанавливаемое под днищем горящего автомобиля и способное специальным штырем пробить отверстие в корпусе аккумуляторного блока, через которое во внутрь подается большое количество воды под давлением. Данное устройство позволяет управлять процессом тушения на расстоянии до 10 метров и снизить расход воды более чем в 4 раза.



*Преимущества:*

- Процедура проста и хорошо известна пожарным.
- При отсутствии специальных устройств и подготовленного персонала могут использоваться традиционное пожарно-техническое вооружение. Не требует специального оборудования.

*Недостатки:*

- Необходимость в значительном объеме воды для тушения.
- Заметные экологические последствия из-за большого объема загрязненной воды, попадающей в окружающую среду.

**Доступ к батарее через пожарный лючок**

Французский автопроизводитель внедрил запатентованную технологию, которая предусматривает оснащение электромобилей специальным пожарным лючком для подачи воды непосредственно в аккумулятор. Эта концепция, разработанная в сотрудничестве с пожарными, использует два термочувствительных элемента, размещённых на шасси и корпусе батареи. При возникновении пожара эти элементы плавятся, создавая отверстие для доступа к батарее. Через это отверстие аварийные службы могут вводить воду прямо в аккумулятор, что позволяет локализовать пожар с использованием минимального объема воды за короткое время. По сути дела, это тоже способ охлаждения водой, но через салон непосредственно в аккумуляторную батарею, в этом и является принципиальное отличие от описанного выше устройство компании Rosenbauer. Здесь большое значение имеет иллюстрация

самого факта сотрудничества автопроизводителя и противопожарной службы, в части создания условий для ликвидации пожара.

*Преимущества:*

- Эффективный способ обеспечения прямого доступа к аккумулятору.
- Простое и быстрое решение для тушения.

*Недостатки:*

- Необходимо избегать попадания пожарного рукава непосредственно в отверстие из-за риска поражения электрическим током.
- Система расположена внутри автомобиля, под задним сиденьем, что может затруднить оперативный доступ для пожарных.
- В настоящее время технология используется только одним производителем.

### **Использование высоковольтного контейнера**

Один из методов тушения пожаров электромобилей — использование высоковольтного контейнера, который представляет собой большую ванну для легковых автомобилей. После тушения огня в кузове автомобиля, если повреждение батареи исключить невозможно, электромобиль помещается в такой контейнер. Контейнер Red Vox, разработанный и запатентованный немецкой компанией, изготовлен из листовой стали и имеет объем 23 м<sup>3</sup>, что достаточно для размещения легкового автомобиля. С помощью крана автомобиль поднимается в контейнер или затягивается внутрь при помощи встроенной сетки и электрической лебедки. Затем контейнер заполняется водой через предусмотренные соединения оборудованных полугайками для подключения пожарных рукавов, обеспечивая полное погружение автомобиля и охлаждение батареи.



Производители автомобилей не рекомендуют данный подход по следующей причине: если тепловой выброс происходит в одном модуле батареи, остальные модули могут оставаться неповрежденными. Полное погружение блока в воду может привести к повреждению этих модулей. Во время нахождения батареи в воде возгорание исключено, однако существует риск возникновения пожара через несколько дней или недель после её извлечения. В худшем случае, погружение повреждает даже безопасные

модули, что может привести к возгоранию в будущем. Невозможно точно предсказать, возникнет ли пожар после погружения и когда это может случиться.



#### *Преимущества:*

- Контейнер оснащён кислотостойкими резиновыми уплотнителями, что гарантирует герметичность и предотвращает утечку загрязнённой воды в окружающую среду.
- Может использоваться не только для электромобилей, но и для других задач.
- Автомобиль можно оставить в контейнере без немедленного заполнения водой до устранения риска возгорания, что соответствует рекомендациям производителей. В случае возгорания контейнер можно заполнить водой в любое время.

#### *Недостатки:*

- После стабилизации батареи загрязнённая вода откачивается, однако утилизация воды может быть затратной в зависимости от уровня загрязнения. Вопросы ответственности за утилизацию остаются нерешёнными.
- Высокая стоимость системы и её транспортировка к месту пожара также увеличивают расходы.

### **Использование ствола-пробойника**

Еще один метод тушения пожаров электромобилей — использование ствола-пробойника, который вводится в корпус аккумулятора вручную или пневматически, в зависимости от производителя. Ствол обычно изготавливается из нержавеющей стали и снабжен небольшими соплами на наконечнике, через которые подается огнетушащая вода непосредственно к элементам батареи. Ручной ствол-пробойник оснащён штуцером для подключения шланга, а его рукоятка имеет электрическую изоляцию для защиты от поражения током.

Во время испытаний ручной ствол-пробойник был испытан для тушения пожара на стенде. Через 700 секунд после возгорания удалось потушить огонь, при этом батарея не была вовлечена в процесс горения — напряжение сохранялось на уровне 400 В, а температура внутри батареи оставалась низкой

(около 25 °С). Это свидетельствует о хорошем уровне защиты корпуса и возможной работе системы управления.

Когда пожар был намеренно инициирован в аккумуляторе, на 825-й секунде произошло резкое падение напряжения, указывающее на начало теплового разгона. Температура начала резко расти, превышая 400 °С. Даже тушение кузова не повлияло на нагрев батареи. После локализации пожара в кузове и обеспечения безопасного доступа к автомобилю был применён ствол-пробойник. Его ввод в батарею с использованием кувалды оказался сложным и потребовал навыков. Важно учитывать возможные риски — такие как струйное горение или короткие замыкания, которые могут привести к электрической дуге или удару током.

Хотя снижение температуры на датчиках показало эффективность охлаждения, её падение до 100 °С может быть недостаточным для полной остановки теплового разгона. Температура на других участках батареи не снижалась и продолжала расти. Эффект охлаждения может быть локализованным, в зависимости от конструкции батареи. Более того, как показали испытания, повторное возгорание после извлечения и повторного ввода пробойника может произойти из-за внутреннего короткого замыкания. Здесь мы не останавливаемся на конструкции или производителе данного технического устройства, потому что их достаточно много и их довольно легко адаптировать для решения настоящей проблемы.

#### *Преимущества:*

- Охлаждение батареи начинается уже через минуту после установки пробойника.
- Требуется относительно небольшое количество воды для тушения. Возможность использования смачивателя позволяет дополнительно сократить расход воды за счет повышения её смачиваемости, этот эффект известен специалистам и применяется в тактике тушения пожаров твердых горючих материалов в Казахстане, он заключается в том что за счет изменения поверхностного натяжения вода более свободно проникает во все отверстия

#### *Недостатки:*

- Для эффективного введения пробойника необходимо точно знать расположение батареи и глубину проникновения. Неправильное положение ствола может потребовать его корректировки.
- Охлаждение может быть локальным и не распространяться на всю батарею.
- Пожарным приходится подходить близко к горящему автомобилю, что увеличивает риск.
- Применение требует специальной подготовки и навыков, поэтому метод лучше подходит для профессиональных пожарных подразделений или специализированных бригад.

## Противопожарное полотно

Противопожарное полотно используется для тушения пожара на начальной стадии и подавления дымообразования. Эти полотна, изготовленные из силиконового стекловолокна, предназначены для покрытия легковых автомобилей и могут быть особенно полезны в дорожных туннелях, помогая при эвакуации и предотвращая распространение огня на другие транспортные средства.



На огневых испытаниях BRAFA применялось полотно размером 6 x 8 м. Пожар, вызванный аккумулятором, развивался стремительно, и полотно было развернуто через 8 минут после возгорания. Однако к этому времени огонь уже охватил весь автомобиль. Несмотря на то, что полотно было развернуто правильно,

под воздействием теплового разгона аккумулятора возникли пламя и дым из-под автомобиля, что усложнило удержание полотна.

Согласно заявлению производителя, полотно должно находиться на автомобиле не менее 20 минут, но на практике его удалось удерживать лишь 2 минуты из-за сложности применения при развитом пожаре. Размер полотна оказался недостаточным, несмотря на компактные габариты автомобиля. Полотно, несмотря на заявленную много разовость, начало рваться под воздействием высоких температур.

Производитель утверждает, что полотно герметизирует автомобиль и препятствует доступу кислорода, однако это не работает в случае электромобилей, так как горение электролита внутри батареи высвобождает кислород. Хотя полотно снизило температуру и уменьшило выброс дыма, полное тушение пожара не удалось достичь, что подтверждается высоким уровнем CO, зафиксированным датчиками. С точки зрения ограничения выхода продуктов сгорания для пожара на открытом пространстве, то эта проблема не велика, а точки зрения пожара в закрытых паркингах, то в Казахстане известны образцы пожарной техники для удаления и осаждения дыма. Для этой цели эффективным видится применение дымососов, автомобилей, подающих тонкораспыленную воду, температурно-активированную воду (так называемый «водяной туман»), от автомобиля АПМ «ПиРо», ну и наконец Автомобиля газоводяного тушения. Как было отмечено ранее, перечисленные средства пожаротушения хорошо известны в Казахстане и если не послужат



непосредственно для работы в очаге, то способны за короткий срок создать условия для более эффективной работы пожарных в зоне горящего в паркинге автомобиля. Здесь мы стремимся определить направления наиболее максимального использования потенциала гарнизонов противопожарной службы. При этом мы понимаем, что требуется актуализировать или создать новые методики применения существующей техники к реалиям новых типов пожаров.



Проведение работ по защите органов дыхания имеет большое значение тем более, что в число продуктов сгорания аккумуляторов входят окись углерода, фтористый водород и цианистый водород (синильная кислота).

Такой набор высокотоксичных соединений однозначно, ставит вопрос о планировании использования комплекса мероприятий по защите органов дыхания личного состава и граждан от их пагубного воздействия.

#### *Преимущества:*

- Полотно уменьшает выбросы дыма, что может быть полезно на начальном этапе эвакуации.

#### *Недостатки:*

- Затруднено применение на этапе развитого пожара.
- Неэффективно при тепловом разгоне (пламя прорывается из-под автомобиля).
- Требуется применения обученным персоналом.
- Ограниченная долговечность при воздействии высоких температур.

В данном материале нами рассмотрены пять способов тушения пожаров, возникающих в электромобилях:

1. Охлаждение водой
2. Люк для доступа к батарее
3. Погружение в контейнер с водой
4. Применение ствола-пробойника
5. Использование противопожарного полотна

## Резюме

1. Использование воды мобильными средствами противопожарной службы
  - Наиболее приемлемый и эффективный способ охлаждения и батареи с целью прекращения или ограничения теплового разгона, как единственной возможности тушения батареи.
  - Требуется большое количество воды, возможность применения смачивателя с целью сокращения расхода воды изучена недостаточно.
  
2. Лючек для доступа к батарее
  - Простой и эффективный способ, позволяющий обеспечить прямой доступ к батарее.
  - В настоящее время применяется только одним производителем.
  - Реализация данной системы пока не оптимальна.
  
3. Погружение в контейнер с водой
  - Обеспечивает хорошую защиту от повторного возгорания батареи.
  - Высокая стоимость контейнера и потенциальное образование большого количества загрязненной воды после тушения пожара делает его крайним вариантом.
  
4. Ствол-пробойник
  - Показал свою эффективность в борьбе с тепловым разгоном. Датчики температуры продемонстрировали быстрое снижение температуры после применения пробойника.
  - Требуется серьезной подготовки от аварийного персонала из-за опасности, связанной с высоким напряжением.
  - Разное расположение и компоновка батарей в легковых автомобилях усложняет процесс.
  
5. Противопожарное полотно
  - Эффективно в первые минуты после возгорания, уменьшает распространение дыма.
  - Сложное в обращении, не снижает тепловой разгон из-за образования кислорода в электролите.
  - Возможно применение на подземных стоянках при наличии обученного персонала.

Изученные способы дают общее представление о методах тушения пожаров в электромобилях, однако для формирования окончательных выводов требуется дополнительные исследования и изучение международного опыта,

потому что проблемы тушения пожаров электромобилей волнуют специалистов многих стран и работы в этой сфере ведутся достаточно активно. Наиболее распространенной и знакомой пожарным стратегией на сегодняшний день остается охлаждение горячей батареи обычной водой. Несмотря на высокие потребности в воде и неэффективность охлаждения, этот метод прост и не требует специальных инструментов. Другие способы на самом деле являются по сути дела охлаждение водой, отличающиеся только методикой и применением различных технических средств. Возможность добавления смачивателей для снижения потребности в воде также требует дальнейшего изучения. Кроме того, необходимы исследования для установления интенсивности подачи воды для охлаждения электромобиля при различных способах подачи водяных стволов. Остается открытым вопрос по определению критического значения температуры батареи, при котором произойдет прекращение теплового разгона. Требуется разработка и реализация программы полигонных огневых испытаний для решения, обозначенных выше задач.

К дополнительным направлениям в этой сфере следует отнести актуализацию ведомственных документов в части тушения пожаров и соблюдения техники безопасности при работе с высокотоксичными соединениями, с установками под напряжением и в зоне высоких тепловых воздействий.

г.Алматы – октябрь 2024 г.