

УДК 614.841.332

АВТОМАТИЧЕСКОЕ АВТОНОМНОЕ ТЕПЛОЗАЩИТНОЕ УСТРОЙСТВО

Костенко В.К., Костенко Т.В., Куценко С.В., Землянский О.Н., Майборода А.А.

Предложено решение проблемы защиты спасателей от теплового поражения при ликвидации пожара. Разработана конструкция автономного средства индивидуальной противотепловой защиты спасателей на начальной стадии ликвидации аварии. Авторами изготовлен и испытан в лабораторных условиях макетный образец автоматического автономного теплозащитного устройства. Результаты испытаний продемонстрировали эффективность охлаждения организма спасателя путем периодического орошения поверхности боевой одежды. Кратковременное охлаждение при помощи предложенного устройства позволит спасателю безопасно покинуть зону теплового поражения. Охлаждение поверхности защитной одежды позволяет уменьшить термодеструкцию материала и увеличить срок ее эксплуатации. Также был испытан автоматический режим работы устройства.

Ключевые слова: спасатель, тепловое поражение, автоматическое устройство, боевая одежда, индивидуальная защита.

(Поступила в редакцию 6 сентября 2017 г.)

Введение. Профессиональная деятельность личного состава подразделений Государственной службы по чрезвычайным ситуациям (ГСЧС) Украины предусматривает работу на объектах разного назначения, длительную деятельность в зонах действия высоких температур, в задымленной и загазованной среде. Данный вид профессиональной экстремальной деятельности характеризуется значительными рисками тепловых травм и профессиональных заболеваний, потому вопрос обеспечения безопасных условий работы, предупреждения травматизма личного состава спасательных подразделений имеет особенное значение.

Согласно требованиям правил безопасности работы в органах и подразделениях ГСЧС Украины личный состав не допускается к организации и ведению оперативных действий на пожаре без исправной защитной одежды; во время проведения оперативных действий в непригодной для дыхания среде спасатели должны выполнять работы в средствах индивидуальной защиты организма с соблюдением требований безопасности.

Спасатели, которые производят оперативные действия по разведке аварийных объектов, спасению и эвакуации пострадавших людей, осуществляют неотложные первоочередные действия по локализации чрезвычайной ситуации, наименее защищены. Этот период ведения работ характеризуется дефицитом информации о зонах поражения, тепловых полях, зонах задымления и загазованности токсичными и ядовитыми веществами. Кроме того, в это время, как правило, не развернуты полностью средства водного, порошкового и пенного тушения пожара, а также газодымозащитная аппаратура. Известно, что время реагирования спасателя на внезапное изменение ситуации достигает 15–20 с, поэтому важным является использование независимых от реакции человека быстродействующих автоматических средств индивидуальной защиты, в первую очередь от теплового поражения на пожарах с интенсивным воздухообменом, где возможны стремительное повышение температуры (до $1000\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{с}^{-1}$ и больше) и тепловые потоки значительной плотности.

Состояние вопроса. Во всех современных типах одежды спасателей, защищающих от повышенных тепловых потоков, используется принцип пассивного теплового барьера, который основан на применении материалов с низким значением коэффициента теплопроводности, высокой теплоемкостью и обеспечением съема тепла холодоносителями с ограниченным ресурсом [1]. Ресурс защитного действия такой одежды достаточно ограничен. Такие средства индивидуальной защиты от теплового поражения имеют достаточно большую массу и значительную толщину теплоизолирующих слоев одежды, которая мешает действиям, связанным с перемещением на значительные дистанции, наклонами, движением в ограниченных пространствах и т. п. Их использование является целесообразным в такой ситуации, когда разведаны пределы зон теплового поражения, в которых необходимо выполнять неотложные аварийные работы.

Известна идея принудительной подачи холодоносителя, что позволяет значительно увеличить теплозащитный ресурс снаряжения, обеспечить улучшение тактических воз-

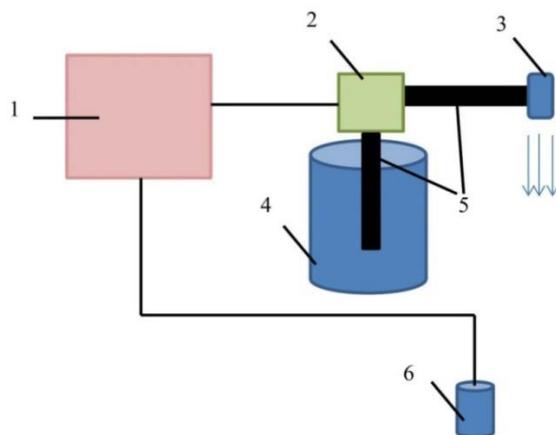
возможностей подразделений, а также повысить эффективность тушения пожаров [2]. Для использования таких средств есть обязательное наличие развернутой системы водоснабжения, что не всегда реализовано в начальный период чрезвычайной ситуации. Кроме того, существует риск теплового поражения спасателя, так как решение на включение охлаждения он принимает самостоятельно на основе индивидуальных ощущений и может выполнить эту операцию несвоевременно.

Поэтому вопрос обеспечения защиты спасателей от теплового поражения на начальном этапе ликвидации пожара, а именно при разведке объекта, эвакуации людей, выполнении неотложных первоочередных работ по локализации аварии, является актуальным.

Цель работы. Обоснование конструктивных подходов к разработке автономного средства индивидуальной защиты спасателей от теплового поражения на начальной стадии ликвидации аварии.

Изложение основного материала. По нашему мнению, в начальный период работ по ликвидации аварии отсутствует необходимость долгосрочной защиты спасателя от действия тепловых факторов – излучение раскаленных предметов (кондуктивный нагрев) или конвекционных потоков газов. Для достижения поставленной цели спасателю необходимо иметь мобильный запас хладагента, с помощью которого будет возможна кратковременная защита от теплового поражения, чтобы произвести кратковременные действия по локализации чрезвычайной ситуации или иметь возможность безопасно покинуть зону теплового поражения. Срабатывание средства должно происходить в автоматическом режиме, независимо от субъективных ощущений человека.

Конструктивно такая система защиты может выглядеть следующим образом (рисунок 1). Автономное теплозащитное устройство состоит из гидравлической части, включающей резервуар, наполненный хладагентом, который находится под давлением, трубопроводов для его подачи к закрепленному на каске спасателя распылителю, и заслоны электромагнитного клапана на горловине резервуара, перекрывающем трубопровод. Автоматическая часть устройства состоит из размещенного в подкостюмном пространстве блока управления с автономным элементом питания, соединенного проводами с датчиком температуры и приводной частью электромагнитного клапана.



1 – блок управления; 2 – электромагнитный клапан; 3 – распылитель;
4 – резервуар; 5 – трубопроводы; 6 – датчик температуры

Рисунок 1. – Конструктивная схема автономного теплозащитного устройства

Автономное теплозащитное устройство функционирует следующим образом. На начальном этапе аварийно-спасательной операции, перед отправлением на разведку объекта, спасением и эвакуацией пострадавших людей на месте аварии, выполнением неотложных действий по локализации чрезвычайной ситуации, когда еще не развернуты системы водоснабжения и отсутствуют другие источники снабжения хладагентами, спасатель надевает боевую одежду. После этого он присоединяет к поясу или кладет в специальную сумку резервуар, частично наполненный автономным ресурсом хладагента. В резервуаре заблаговременно создано давление воздуха, которое является источником выталкивания хладагента к трубопроводу. Установленный на горловине резервуара электромагнитный клапан в начальном состоянии удерживает трубопровод перекрытым. Желательно обеспечить возможность экстренного отсоединения резервуара с клапаном в случае исчерпания хладагента.

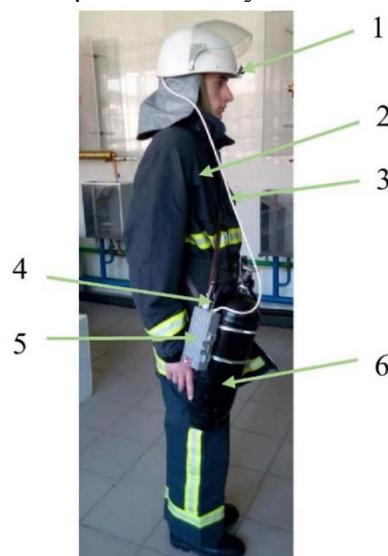
та или необходимости облегчить загрузку спасателя. Управляющий блок размещают во внутреннем кармане одежды, провода от блока подключают к датчику температуры и приводной части электромагнитного клапана. Настроенный на максимально допустимую для человеческого организма температуру 50 °С температурный датчик закрепляют на груди спасателя в районе сердца между телом и внутренним слоем белья. На каске закрепляют распылитель-форсунку, которая гибким трубопроводом соединена с клапаном. Форсунка может быть несколько. Факел распыления струй должен быть направлен на переднюю часть боевой одежды спасателя для равномерного ее орошения.

При выполнении оперативных действий спасатель может попасть в зону экстремального теплового поражения, при этом происходит интенсивный нагрев поверхности боевой одежды и в результате ее теплопроницаемости – тела до температуры 50 °С. Человек не способен своевременно и четко оценивать уровень температуры в подкостюмном пространстве, это создает угрозу теплового поражения в виде перегрева организма или теплового удара, потери сознания и т. п. Наличие датчика температуры позволяет повысить точность оценки нагрева тела и сделать автоматическим процесс приведения в действие охлаждающего устройства. При достижении критического уровня температуры 50 °С, датчик выдает электрический сигнал, который попадает к блоку управления, где выдается команда клапану на открытие заслонки в трубопроводе. По открытому трубопроводу хладагент из резервуара под воздействием убыточного давления воздуха попадает к распылителю. Длительность подачи хладагента регулируется установками на блоке управления и составляет 3–8 с, после окончания установленного времени и распыления порции хладагента блок управления подает команду на закрытие клапана. Орошение поверхности боевой одежды приводит к снижению температуры тела спасателя за счет охлаждения поверхности одежды хладагентом, а также поглощения энергии при испарении хладагента. Кратковременное охлаждение позволяет спасателю безопасно покинуть зону теплового поражения. Если спасатель продолжает неотложные действия в зоне теплового поражения, то автономное теплозащитное устройство обеспечивает периодическое охлаждение в импульсном режиме до полного опустошения резервуара. Импульсная подача хладагента, которая осуществляется при достижении критической температуры в подкостюмном пространстве и прекращается при охлаждении до безопасного уровня, позволяет экономно его расходовать, что увеличивает срок защитного действия устройства. Охлаждение поверхности защитной одежды позволяет уменьшить термодеструкцию материала и увеличить срок ее эксплуатации.

Для подтверждения возможности создания, автоматического автономного теплозащитного устройства был подготовлен его макетный образец. Внешний вид спасателя в боевой одежде с макетным образцом устройства представлен на рисунке 2. В качестве датчика был использованный термистор NTC 10k 1 % 3950 влагозащищенный для W1209 W1401 - 20-105 °С. Датчик был соединен с блоком управления, созданным в виде микроконтроллера на базе микропроцессора AT MEGA 32. В качестве хладагента использовали три литра воды комнатной температуры около 21 °С, которая была залита в металлический резервуар объемом пять литров. В резервуар закачали воздух под давлением 0,02 МПа. На горловине резервуара был установлен электромагнитный клапан, который выдерживает максимальное давление в системе 0,17 МПа.

Была продемонстрирована возможность охлаждения организма спасателя путем орошения поверхности его боевой одежды.

В лабораторных условиях были проведены испытания макетного образца. В качестве модели человеческого тела использовали пластиковую цилиндрическую емкость объ-



1 – распылитель; 2 – датчик температуры;
3 – трубопровод; 4 – электромагнитный водяной клапан; 5 – блок управления с аккумулятором
6 – емкость с хладагентом

Рисунок 2. – Внешний вид спасателя в боевой одежде, с макетным образцом устройства

емом шесть литров, заполненную водой, нагретой до 37 °С. Датчик температуры, заранее настроенный на срабатывание при нагреве до 50 °С, был размещен на поверхности емкости и накрыт тканью. Нагрев модельной емкости осуществляли с помощью инфракрасного обогревателя типа UFO Ecoline/30, мощностью 2900–3200 Вт, расположенного на расстоянии около одного метра от модели. Контроль температуры в районе размещения датчика осуществляли с помощью бесконтактного термометра типа Mastech MS 6531a. Измерения температуры осуществляли с интервалом пять секунд, а также при срабатывании клапана, начала работы или прекращения распыления воды сквозь форсунку на емкость. Подача воды сквозь форсунку составляла 0,1 л·с⁻¹. Длительность подачи воды определялась настройкой блока управления и составляла пять секунд. Результаты измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1. Динамика температуры поверхности модели при работе автономного охлаждающего устройства

<i>T</i> , с	0	5	10	15	17	20	22	25	30	35
<i>t</i> , °С	35	35	42	45	50	38	37	42	50	37
Подача хладагента	–	–	–	–	+	+	+	–	+	+

Результаты испытаний макетного образца охлаждающего устройства свидетельствуют об эффективности его работы по охлаждению модели спасателя. Автоматический режим работы устройства обеспечивает надежное оценивание тепловой обстановки в подкостюмном пространстве и защиту от «человеческого фактора». Импульсный режим работы устройства обеспечивает экономный расход хладагента и увеличение длительности защиты спасателя от теплового поражения.

Предложенная конструкция автоматического автономного теплозащитного устройства продемонстрировала свою работоспособность и эффективность, в перспективе она может быть доведена до серийного изготовления и принятия на оснащение подразделений ГСЧС. Для этого нужна конструкторская и дизайнерская доработка отдельных узлов и системы в целом. Массу резервуара и его объем следует оптимизировать, уменьшить вес отдельных элементов, проработать вопрос надежности и термостойкости трубопроводов, проводов и т. п. Для опытных образцов необходимо провести огневые испытания на полигоне.

Выводы. В данное время не решенным является вопрос защиты спасателей от теплового поражения на начальном этапе ликвидации пожара, когда информации про обстановку на объекте мало и не задействованы противотепловые средства.

В работе обоснованы конструктивные подходы к разработке автономного средства индивидуальной защиты спасателей от теплового поражения на начальной стадии ликвидации аварии.

Авторами изготовлен и испытан макетный образец автоматического автономного теплозащитного устройства, который продемонстрировал эффективность охлаждения организма спасателя путем периодического орошения поверхности боевой одежды в лабораторных условиях и автоматический режим работы устройства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теплозахисний костюм: пат. на корисну модель № 109668 Україна, МПК А62В 17/00, А41D 13/02 / В.К. Костенко, О.Л. Зав'ялова, Г.В. Зав'ялов, Т.В.Костенко, В.М. Покалюк. Заявник і власник В.К. Костенко, О.Л. Зав'ялова. – № u201603119; заявл. 25.03.2016; опубл. 25.08.2016 // Бюл. № 16/2016.
2. Охолоджуючий пристрій теплозахисного костюма: пат. на корисну модель № 114109 Україна, МПК А62В 17/00 / В.К. Костенко, Т.В. Костенко, В.М. Покалюк, А.О. Майборода, О.М. Нуянзін, А.А. Нестеренко. Заявник і власник Т.В. Костенко, О.М. Нуянзін. – № u201609849; заявл. 26.09.2016; опубл. 27.02.2017 // Бюл. № 4/2017.

AUTOMATIC AUTONOMOUS HEAT PROTECTIVE DEVICE

Viktor Kostenko, Grand PhD in Technical Sciences, Professor

Tetyana Kostenko, PhD in Technical Sciences

Stanislav Kutsenko, PhD in Technical Sciences, Associate Professor

Oleh Zemlianskyi, PhD in Technical Sciences

Artem Maiboroda, PhD in Pedagogical Sciences

Cherkassy Institute of Fire Safety named after Heroes of Chornobyl
of National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkassy, Ukraine

Purpose. Substantiation of constructive approaches to the development of an autonomous means of individual protection of rescuers against heat damage at the initial stage of accident elimination.

Methods. Theoretical substantiation of the design of an autonomous means of individual protection of rescuers from heat damage, laboratory test model sample of automatic autonomous heat protective device.

Findings. Substantiation of the design of an autonomous means of individual protection of rescuers from heat damage at the initial stage of accident elimination. Manufactured and tested model sample of automatic autonomous heat protective device, that demonstrated the effectiveness of cooling the body of the rescuer by periodically spraying the surface of fighting clothing. Automatic operation device tested in laboratory conditions.

Application field of research. The proposed design of automatic autonomous heat protective device demonstrated its efficiency. In the future it can be brought to series production and manufacturing the equipment of rescue units. For this purpose, engineering and design study of individual components and the system as a whole is needed.

Keywords: rescuer, heat damage, automatic device, fighting clothing, individual protection.

(The date of submitting: September 6, 2017)

REFERENCES

1. Kostenko V.K., Zav'yalova O.L., Zav'yalov G.V., Kostenko T.V., Pokalyuk V.M. *Teplozakhisniy kostyum* [Heat protective suit]. Patent UA, no. 109668, IPC A62B 17/00, A41D 13/02. Appl. num. u201603119; owner: Kostenko V.K., Zav'yalova O.L.; publ. March 25, 2016. Bul. No. 16/2016. (ukr)
2. Kostenko V.K., Kostenko T.V., Pokalyuk V.M., Mayboroda A.O., Nuyanzin O.M., Nesterenko A.A. *Okholodzhuyuchiy pristriy teplozakhisnogo kostyuma* [Cooling device heat protective suit]. Patent UA, no. 114109, IPC A62B 17/00. Appl. num. u201609849; owner: Kostenko T.V., Nuyanzin O.M.; publ. February 27, 2017. Bul. No. 4/2017. (ukr)