

М. В. Алешков, М. Д. Безбородько, И. А. Гусев, О. В. Двоенко, И. А. Ольховский
(Академия ГПС МЧС России; e-mail: ivan.gusev.92@inbox.ru)

ПОЛИГОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ УСТАНОВКИ ПОЖАРОТУШЕНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ

На основании практического опыта ликвидации пожаров и аварий на объектах энергетики сформулированы технические требования к конструкции роботизированной установки пожаротушения. Разработанная установка оснащена дистанционно-управляемым лафетным стволом, обеспечивающим подачу огнетушащих веществ в машинные залы электростанций. Массово-габаритные характеристики установки обеспечивают её свободное перемещение в условиях объекта. Полигонные испытания подтвердили высокую эффективность установки при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ на объектах энергетики, в том числе атомной.

Ключевые слова: роботизированная установка пожаротушения, тушение пожаров на объектах энергетики, полигонные испытания пожарных роботов.

Энергетика является ключевой отраслью экономики как для России, так и для других стран, обеспечивающей внутренние потребности народного хозяйства и населения в электроэнергии. Она обеспечивает работу базовых отраслей экономики, таких как добыча сырьевых ресурсов, тяжёлая и оборонная промышленность, машиностроение и др. От её функционирования зависят состояние систем жизнеобеспечения и развитие экономики страны.

Постоянно растущий спрос на электроэнергию привёл к тому, что в настоящее время энергетика России перенапряжена. Неуклонно обостряется проблема физического и морального старения оборудования электростанций и электрических сетей (до 70 %). Как следствие, за последние годы увеличилось количество крупных пожаров и аварий на объектах энергетики, сопровождающихся уничтожением государственного имущества и остановкой на длительный срок различных производственных объектов [1].

При этом выполненный анализ пожаров и аварий на объектах энергетики позволяет говорить о том, что при пожаре складываются условия, при которых участники тушения пожара и персонал объекта могут получить травмы, в том числе и несовместимые с жизнью (рис. 1) [2, 3]. Основной причиной травмирования и гибели людей при пожарах на объектах энергетики являются воздействия опасных факторов пожара и возникновение сопутствующих им событий.

Пожары на объектах энергетики отличаются тем, что в результате выхода объекта из строя на обширной территории складывается довольно напряжённая обстановка, как это было с аварией на подстанции Чагино [4].

Говоря об объектах атомной энергетики необходимо упомянуть об угрозе выброса радиоактивных веществ, в результате которого могут пострадать люди, ведь в 30-километровой зоне от каждой АЭС проживает в среднем около 4 млн человек [5].

В связи с этим необходимо своевременно и эффективно проводить работы по тушению пожаров на объектах энергетики. Но процесс тушения пожара на объектах энергетики является довольно трудоёмким и порой в результате возникающих угроз его приходится прерывать, отводя силы и средства на безопасные расстояния.

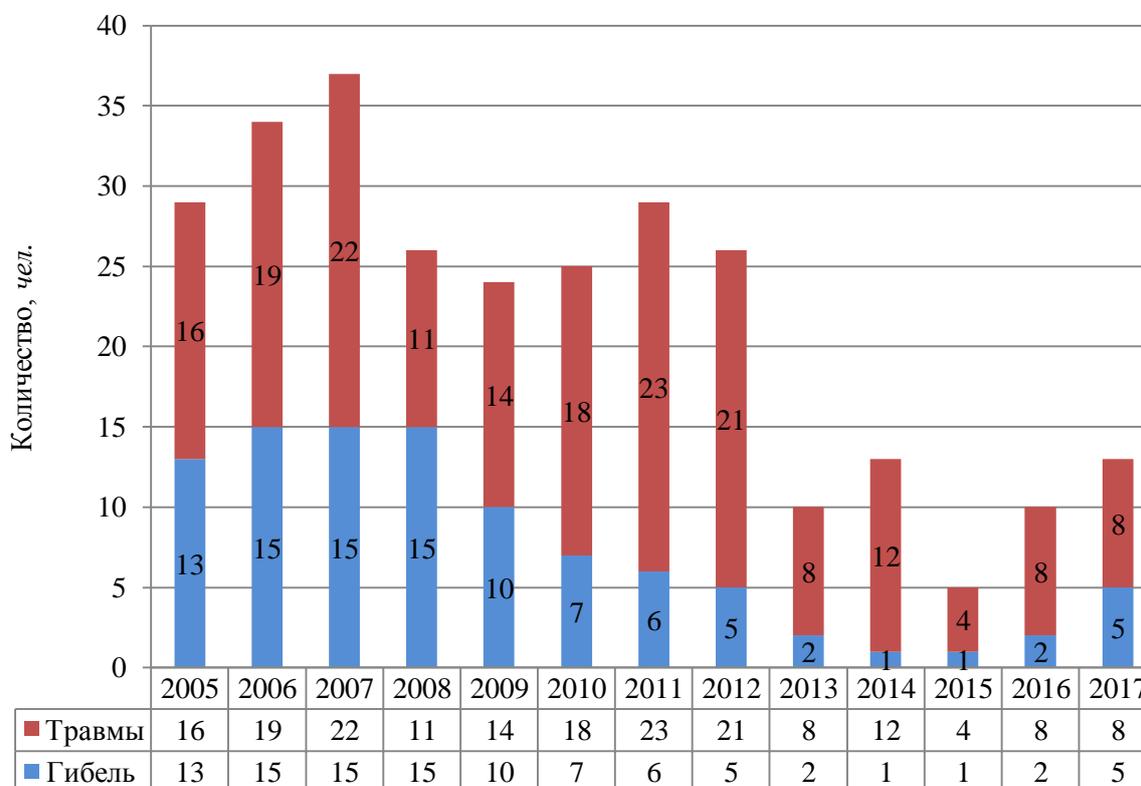


Рис. 1. Количество погибших и травмированных при пожарах на объектах энергетики в период с 2005 г. по 2017 г.

Для обеспечения процесса пожаротушения на объектах энергетики в условиях возникающих угроз предлагается применение мобильной робототехники пожаротушения, способной заменить человека на наиболее сложных и опасных участках работ.

Мобильная робототехника представляет собой дистанционно-управляемое оператором средство, которое выполняет функции или предписанные виды работ без непосредственного участия человека в опасной зоне¹. О перспективности применения мобильной робототехники при тушении пожаров на объектах энергетики говорится в работе [6], где подробно разобраны пожары, происходившие на объектах атомной энергетики, а также проанализированы пути развития робототехнических средств в других странах.

Разрабатываемая авторами робототехника должна соответствовать ряду параметров, при которых достигается её эффективное применение. Об этом свидетельствуют и работы зарубежных коллег [7, 8].

¹ ГОСТ Р 54344-2011. Техника пожарная. Мобильные робототехнические комплексы для проведения аварийно-спасательных работ и пожаротушения. Классификация. Общие технические требования. Методы испытаний

Но как показал анализ существующей робототехники пожаротушения, нет специально разработанного для этих целей образца мобильной робототехники, а тактико-технические характеристики существующей робототехники позволяют говорить о том, что её нельзя в полном объёме применять для выполнения поставленных задач [9]. В связи с этим авторами были проведены исследования, необходимые для разработки опытного образца мобильной робототехники пожаротушения для объектов энергетики.

Были проанализированы работы, связанные с тушением пожаров на объектах энергетики, где возможна полная или частичная замена участников тушения пожара на робототехнические средства [10]. Учитывалось воздействие опасных факторов пожара и событий, возникающих в процессе тушения пожара (обрушение, взрыв, воздействие радиоактивного излучения и др.) на персонал и личный состав подразделений, участвующий в тушении пожара, согласно нормативным данным.

Основным условием являлось то, что конструкция *робототехнического средства (РТС)* пожаротушения должна быть оснащена средством подачи огнетушащих веществ с расходом, обеспечивающим заданную интенсивность подачи огнетушащих веществ $0,20 \text{ л/м}^2\text{с}$ для тушения пожаров в машинных залах электростанций [11]. При этом выбранное средство подачи огнетушащих веществ должно обеспечивать их подачу на защиту строительных конструкций.

Габаритные размеры робототехнического средства должны обеспечивать его свободное перемещение в условиях объекта. Это условие во многом обеспечивается за счёт отсутствия собственного запаса огнетушащих веществ.

На основании проведенных исследований были сформированы технические требования к конструкции, которой должна обладать *мобильная роботизированная установка пожаротушения (МРУП)*, относящаяся к робототехническим средствам пожаротушения (рис. 2).

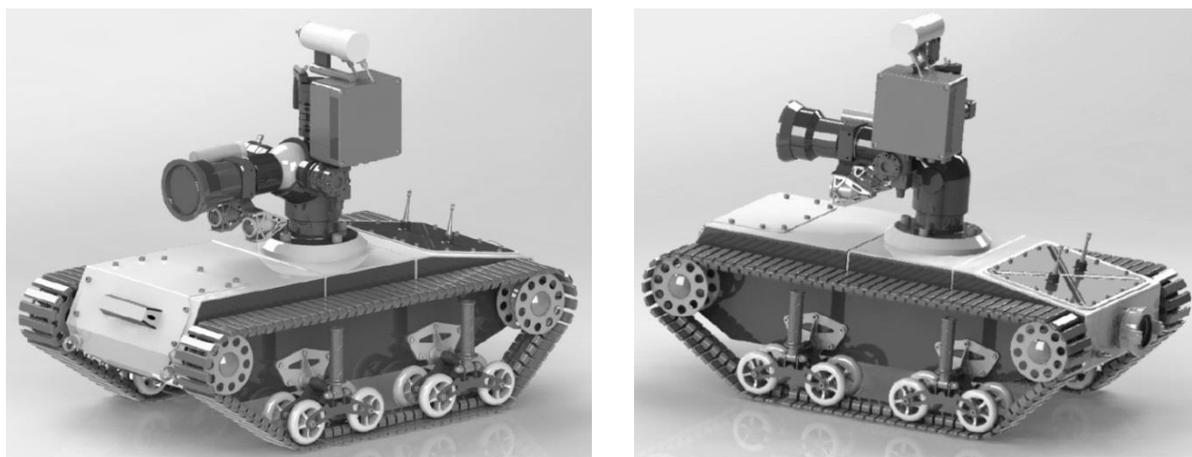


Рис. 2. 3D-модель разрабатываемой мобильной роботизированной установки пожаротушения

Особенностью данной конструкции является то, что с учётом специфики тушения пожаров необходима подача огнетушащих веществ с расходом не менее 15 л/с, за счёт чего обеспечивается эффективное тушение пожара, защита строительных конструкций и осаждение взвешенных частиц пыли, в том числе радиоактивной. При этом должна обеспечиваться подача не только воды, но и раствора пенообразователя.

Для мониторинга пожарной обстановки и проведения разведки в составе робототехнического средства должна быть система видеонаблюдения, тепловизор и средства освещения.

Габаритные размеры и массовые характеристики конструкции должны обеспечивать её свободное перемещение в условиях объекта, при этом доставка МРУП на различные технологические отметки должна осуществляться как с помощью технических средств, так и личным составом подразделений, что также учтено при разработке.

Одним из условий эффективного применения МРУП является отсутствие собственного запаса огнетушащих веществ, следовательно, обеспечение МРУП огнетушащими веществами должно осуществляться при помощи рукавных линий, которые МРУП должна перемещать при выходе на позицию и маневрировании с рукавными линиями у очага пожара.

Для определения данного параметра были проведены экспериментальные исследования по определению усилий, которые необходимо преодолевать при прокладке рукавных линий с диаметрами условного прохода 50, 65, 80 мм. В результате эксперимента был получен массив данных, при обработке которого были определены коэффициенты трения пожарных напорных рукавов и трёх наиболее часто встречающихся поверхностей объекта энергетики: плитка, наливной пол и асфальт.

Также было установлено, что при проведении экспериментального исследования наблюдалось возникновение автоколебаний, влияющих на показания возникающей силы трения, которые необходимо учитывать при оценке тактических возможностей мобильной робототехники. В результате математической обработки экспериментальных данных был выведен коэффициент запаса, с учётом которого формула для определения силы трения при транспортировке рукавных линий принимала вид:

$$F = 1,1 \cdot \mu \cdot m_0 \cdot g \cdot N, \quad (1)$$

где μ – коэффициент трения скольжения полученный расчётным путём;
 m_0 – масса одного рукава i -го диаметра, кг;
 g – ускорение свободного падения m/c^2 ;
 N – количество рукавов.

Исходя из условий того, что напорно-расходные характеристики выбранного средства подачи огнетушащих веществ сохраняются на расстоянии от насосной установки до 230 м, для транспортировки рукавных линий на заданное расстояние конструкция МРУП должна обладать тяговым усилием не менее 1000 Н.

Для обеспечения необходимых условий транспортировки рукавных линий конструкция МРУП должна быть оснащена системой гусеничного шасси с электромеханическим приводом. Это позволит ей свободно перемещаться в условиях объекта с рукавными линиями. При этом будет обеспечено проведение работ в условиях пониженного содержания кислорода, поскольку на работу электродвигателя это условие не оказывает влияния.

Проведённые исследования и полученные результаты позволили создать опытный образец МРУП (рис. 3).

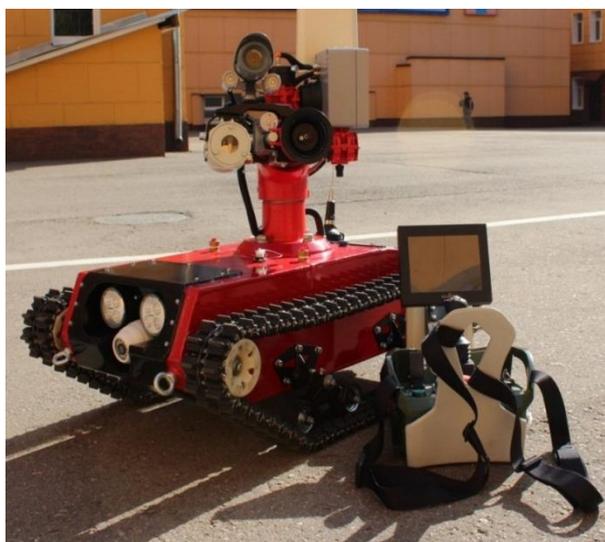


Рис. 3. Опытный образец мобильной роботизированной установки пожаротушения

Разработанный опытный образец прошёл предварительные испытания в Академии ГПС МЧС России, где оценивались его динамические характеристики, работоспособность узлов и механизмов, работа системы видеонаблюдения.

Осуществлялась подача огнетушащих веществ, была оценена дальность подачи и расходно-напорные характеристики (рис. 4).

Для проверки всех заявленных характеристик МРУП были разработаны программа и методика испытаний опытного образца, которая позволила провести комплексную оценку возможностей МРУП и оценку соответствия параметров разработанного изделия требованиям нормативной и технической литературы.

Для проведения испытаний были разработаны стенды, необходимые для оценки ходовых и огнетушащих возможностей МРУП (рис. 5).



Рис. 4. Подача огнетушащих веществ с использованием мобильной роботизированной установки пожаротушения



Рис. 5. Стенды для оценки ходовых характеристик мобильной роботизированной установки пожаротушения

Испытания проходили на полигоне Научно-исследовательского центра пожарно-спасательной и робототехники ВНИИПО МЧС России. Прошла проверка огнетушащих возможностей МРУП (рис. 6) при тушении модельного очага с горящими нефтепродуктами.

Проверялись тяговые характеристики при движении с рукавной линией. При этом движение осуществлялось по снежному покрову, что создавало дополнительные трудности (рис. 7), но МРУП свободно перемещался с водозаполненной рукавной линией, состоящей из двух рукавов с диаметром условного прохода 50 мм.



Рис. 6. Тушение модельного очага мобильной роботизированной установкой пожаротушения



Рис. 7. Движение с рукавной линией после прекращения подачи воды

Испытания подтвердили заявленные характеристики МРУП, а также позволили сформировать требования по дальнейшей модернизации опытного образца и постановке его на серийное производство.

Основными преимуществами МУПР являются:

- наличие дистанционно-управляемого лафетного ствола с изменяемым расходом огнетушащих веществ до 20 л/с и изменяемой геометрией струи с дальностью подачи до 70 м. Подача распылённых струй огнетушащих веществ позволяет наиболее эффективно использовать МРУП не только для охлаждения и защиты объектов и технологического оборудования от воздействия потоков лучистой и тепловой энергии на пожарах, но и создания водяных завес при локализации и ликвидации химических и радиационных аварий;

- для проведения разведки и поиска скрытых очагов горения при пожаре дополнительно установлены 2 светодиодные фары и тепловизор, передача информации с которого осуществляется на пульт оператора;

- снаряжённая масса составляет 110 кг, что позволяет осуществлять его транспортировку к месту проведения работ при пожарах (авариях) непосредственно личным составом подразделений пожарной охраны методом переноски или с использованием малогабаритных подъёмных механизмов.

Сравнивая разработанный образец с мобильной роботизированной установкой пожаротушения (рис. 8), необходимо отметить, что МРУП обладает преимуществами, а именно:

- увеличено время непрерывной работы до 4 ч;
- установлено гусеничное шасси, увеличен дорожный просвет;
- корпус обработан специальным термостойким составом;
- установлено две камеры технического зрения (курсовая и управления стволом);
- установлен тепловизор;
- увеличена дальность дистанционного управления.



а) разработанный



б) МУПР-С-СП-Э-ИК-ТВ-УП-20(15,10)

Рис. 8. Сравнение робототехнических средств

Разработанный опытный образец мобильной дистанционно-управляемой установки пожаротушения является одним из первых образцов мобильной робототехники пожаротушения, специально разработанной для объектов энергетики. Совместное его применение с личным составом пожарно-спасательных подразделений позволит повысить эффективность тушения пожаров, при этом обеспечив безопасность людей на наиболее опасных участках работ.

Литература

1. Двоенко О. В. Насосно-рукавные системы пожарных автомобилей, обеспечивающие тушение пожаров и аварийное водоснабжение на объектах энергетики в условиях низких температур: дисс. ... канд. техн. наук. М., 2014. 190 с.
2. Пожары и пожарная безопасность в 2014 году: статистический сборник / Под общей ред. Матюшина А. В. – М.: ВНИИПО МЧС России, 2015. 124 с.
3. Пожары и пожарная безопасность в 2015 году: статистический сборник / Под общей ред. Матюшина А. В. М.: ВНИИПО МЧС России, 2016. 124 с.
4. Авария в энергосистеме 25 мая 2005 в Москве. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Авария в энергосистеме в Москве](https://ru.wikipedia.org/wiki/Авария_в_энергосистеме_в_Москве).
5. Микеев А. К. Пожары на радиационно-опасных объектах. Факты. Выводы. Рекомендации. М.: ВНИИПО МЧС России, 2000. 346 с.
6. Микеев А. К. Противопожарная защита АЭС. М.: Энергоиздат, 1990. 432 с.
7. Alhaza T., Alsadoon A., Alhusinan Z., Jarwali M., Alsaif K. New Concept for Indoor Fire Fighting Robot // World Conference on Technology, Innovation and Entrepreneurship. Procedia – Social and Behavioral Sciences 195, 2015. Pp. 2343-2352. URL: https://mafiadoc.com/new-concept-for-indoor-fire-fighting-robot-core_5bb40480097c476d798b4703.html.
8. Teh Nam Khoon, Patrick Sebastian, Abu Bakar Sayuti Saman. Autonomous Fire Fighting Mobile Platform // International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors 2012 (IRIS 2012), 2012. Procedia Engineering 41, 2012. Pp. 1145-1153. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187770581202694X?via%3Dihub>
9. Алешков М. В., Рожков А. В. Применение робототехнических комплексов для тушения пожаров на объектах энергетики // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация", 2016. № 1. С. 48-53.
10. Гусев И. А. Обоснование требований к мобильной робототехнике пожаротушения, применяемой на объектах энергетики // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация", 2017. № 3. С. 21-27. DOI: 10.25257/FE.2017.3.21-27.
11. Иванников В. П., Ключ П. П. Справочник руководителя тушения пожара. М.: Стройиздат, 1987. 288 с.

Материал поступил в редакцию 25 января 2018 г.

Для цитирования: Алешков М. В., Безбородько М. Д., Гусев И. А., Двоенко О. В., Ольховский И. А. Полигонные испытания роботизированной установки пожаротушения для объектов энергетики // Технологии техносферной безопасности. – Вып. 3 (79). – 2018 – С. 9-18. DOI: 10.25257/TTS.2018.3.79.9-18.

M. V. Aleshkov, **M. D. Bezborodko**, I. A. Gusev, O. V. Dvoenko, I. A. Olkhovsky
POLYGON TESTS OF THE ROBOTIC FIRE EXTINGUISHING UNIT
AT POWER ENGINEERING OBJECTS

On the basis of practical experience of elimination of fires and accidents on objects of power technical requirements to a design of robotic installation of fire extinguishing have been formulated.

The developed installation is equipped with the remotely-controlled fire monitor, providing supply of fire extinguishing substances for suppression of the fires in machine halls of power plants. Mass and dimensional characteristics of installation provide its free movement in the conditions of an object. Delivery to various technological marks is carried out both by means of technical means, and by staff of divisions. This condition is in many respects provided due to lack of own reserve of fire extinguishing substances.

Polygon tests have confirmed high efficiency of installation at fire extinguishing and carrying out a wrecking on power objects, including at atomic one.

Key words: robotized fire extinguishing installation, fire extinguishing at power plants, polygon tests of fire robots.

References

1. Dvoenko O. V. *Nasosno-rukavnye sistemy pozharlykh avtomobilej, obespechivayushchie tushenie pozharov i avarijnoe vodosnabzhenie na obektah ehnergetiki v usloviyah nizkih temperature* [Pump and hose systems for fire fighting vehicles providing firefighting and emergency water supply at power plants at low temperatures]: PhD in Tech. sci. diss., Moscow, 2014, 190 p. (in Russian).
2. *Pozhary i pozharnaya bezopasnost v 2014 godu: statisticheskij sbornik* [Fire and fire safety in 2014: statistical compilation]. By ed. Matyushin A. V., Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2015, 124 p.
3. *Pozhary i pozharnaia bezopasnost v 2015 godu: statisticheskii sbornik* [Fires and fire safety in 2010: statistical collection]. By ed. Matyushin A. V., Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2015, 124 p.
4. 2005 Moscow power blackouts. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/2005_Moscow_power_blackouts (in Russian).
5. Mikeyev A. K. *Pozhary na radiatsionno-opasnykh ob'yektakh. Fakty. Vyvody. Rekomendatsii* [Fires on radiation-hazardous objects. Data. Findings. Recommendations]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2000, 346 p.
6. Mikeyev A. K. *Protivopozharnaya zashchita AES* [Fire protection of Nuclear Power Station]. Moscow, Energoizdat Publ., 1990, 432 p.
7. Alhaza T., Alsadoon A., Alhusinan Z., Jarwali M., Alsaif K. New Concept for Indoor Fire Fighting Robot. World Conference on Technology, Innovation and Entrepreneurship. Procedia – Social and Behavioral Sciences 195, 2015, pp. 2343-2352. Available at: https://mafiadoc.com/new-concept-for-indoor-fire-fighting-robot-core_5bb40480097c476d798b4703.html.
8. Teh Nam Khoon, Patrick Sebastian, Abu Bakar Sayuti Saman. Autonomous Fire Fighting Mobile Platform. International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors 2012 (IRIS 2012), 2012, Procedia Engineering 41, 2012, pp. 1145-1153. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187770581202694X?via%3Dihub>.
9. Aleshkov M., Rozhkov A., Dvoenko O., Olkhovsky I., Gusev I. The use of robotic systems to ensure fire suppressing efficiency at power plants. *Pozhary i chrezvychainye situatsii: predotvrashchenie, likvidatsiia / Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2016, no. 1, pp. 48-53 (in Russian).
10. Gusev I. A. Justification of requirements to fire extinguishment mobile robotics applied at power objects. *Pozhary i chrezvychainye situatsii: predotvrashchenie, likvidatsiia / Fire and Emergencies: Prevention, Elimination*, 2017, no. 3, pp. 21-27 (in Russian). DOI: 10.25257/FE.2017.3.21-27.
11. Ivannikov V. P., Klyus P. P. *Spravochnik rukovoditelya tusheniya pozhara* [Directory of fire extinguishing]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1987, 288 p.

For citation: Aleshkov M. V., Bezborodko M. D., Gusev I. A., Dvoenko O. V., Olkhovsky I. A. Polygon tests of the robotic fire extinguishing unit at power engineering objects. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti / Technology of technosphere safety*, vol. 3 (79), 2018, pp. 9-18 (in Russian). DOI: 10.25257/TTS.2018.3.79.9-18.