

УДК 614.841.345

В. Л. Потеха, д.т.н., проф., А. В. Потеха,
Гродненский государственный аграрный университет,
Г. Н. Здор, д.т.н., проф., Белорусский национальный технический университет (г. Минск)

РОБОТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ ПОЖАРОТУШЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Представлены результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по созданию, испытанию и практическому использованию роботизированных систем пожаротушения.

Ключевые слова: роботизированные системы пожаротушения, теория создания пожарных роботов, конструкции и размещение пожарных роботов, реализованные проекты.

Постановка проблемы. Проблема пожарной безопасности сегодня является актуальной для всех без исключения стран мира. В начале XXI века в мире ежегодно регистрируют 6,5...7,5 млн. пожаров, при которых погибают около 70...75 тыс. человек и травмируется примерно 1 млн. человек, а материальный ущерб составляет сотни миллионов евро [1, с. 8].

По данным NFPA в 2011 году в США зарегистрировано 1.389.500 пожаров, в результате которых погибло 3005 мирных жителей, 17.500 получили ранения. Экономический ущерб составил 11,7 млрд. долларов [2].

По предварительным данным только прямой ущерб экономике Российской Федерации от летних пожаров 2010 г. превысил 15 млрд. долларов, что составляет около 1 % ВВП страны. С учетом косвенных и отложенных потерь ущерб может составить от 2 до 3 % ВВП и более. Столь масштабных потерь российская экономика не испытывала давно.

В результате пожара, произошедшего в декабре 2009 года в ночном клубе (г. Пермь, Россия), погибло 156 человек, более 100 человек получили ранения разной степени тяжести. 11 мая 2010 года на территории завода вычислительной техники (г. Минск, Беларусь) произошел сильный пожар, в результате которого предприятию нанесен ущерб в размере более 700 млн. рублей. Четыре работника МЧС, занимавшихся тушением пожара, погибли, четыре человека госпитализированы.

Анализ последних достижений и публикаций. Роботизированные стационарные системы пожаротушения (РССП) являются уникальной инновационной технологией, интенсивное развитие которой по времени часто связывают с одним из главных трагических событий 20-го века – Чернобыльской катастрофой.

Широкое использование РССП для защиты объектов экономики, культуры и социальной сферы сегодня во многом сдерживается по причинам несовершенства их конструкции, недостатком рекомендаций по их оптимальному использованию на объектах. Также практически отсутствуют научно обоснованные критерии, позволяющие прогнозировать наиболее перспективные направления развития, как самих систем, так и их отдельных элементов.

Выделение нерешённых ранее вопросов общей проблемы, которым посвящается статья. В Республике Беларусь на протяжении последних семи лет проводятся систематические исследования РССП и их элементов. За прошедшее время реализован 1 проект и ещё один находится в завершающей стадии своей реализации.

Настоящая статья обобщает результаты проведенных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по роботизированным системам пожаротушения, проведенным в Республике Беларусь в 2005...2013 гг.

Изложение основного материала исследования и обсуждение полученных результатов.

Термины и определения. В работе [3] нами с позиций системного анализа впервые представлены некоторые определения терминов пожарной робототехники. Использование системного анализа позволило определить иерархию систем, а также определить основные функциональные системы пожарного робота (ПР).

Основанием для предложения терминов и определений послужила разработка структурно-функциональной модели ПР, представленной на рис. 1 [3]. Как следует из рис.1, совершенствование конструкций ПР должно предусматривать комплекс действий над его составными частями (элементами) и приводить к получению современного инновационного изделия.

Роботизированный пожарный комплекс – пожарный робот (РПК – ПР) – пожарный комплекс (робот), являющийся частью роботизированной стационарной (мобильной) системы пожаротушения и состоящий из определенного числа модулей (агрегатов) и дополнительных систем, обеспечивающих всю технологию пожаротушения на каком-либо объекте.

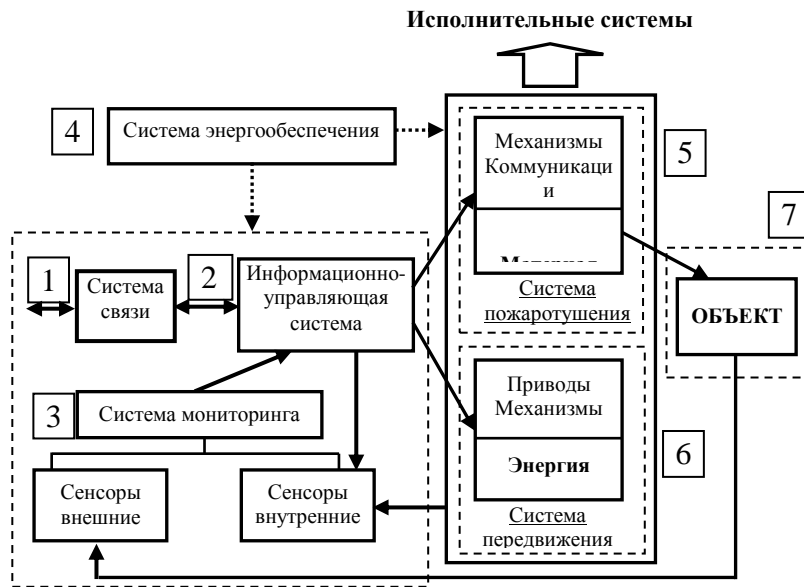


Рисунок 1 – Структурно-функциональная модель ПР: 1 – система связи; 2 – информационно-управляющая система; 3 – система мониторинга; 4 – система энергообеспечения; 5 – система пожаротушения; 6 – система передвижения; 7 – объект возгорания.

Основы теории создания пожарных роботов.

Ранее нами была обоснована возможность использования критерия удельной информационной ёмкости продукта (УИП – наукоёмкости) для производства разнообразных сложных в техническом отношении инновационных изделий [4]. В последующем была предложена модель оценки УИП сложного технического продукта, в которой значение критерия рассчитывают с учетом данных о количестве элементов системы (n), образующих продукт; количества стадий (z) жизненного цикла каждого элемента; массы-нетто (m) элементов, образующих продукт, и функции изменения издержек $f_{ij}(t)$ элементов продукта на стадиях их жизненного цикла по формуле:

$$N = \sum_{i=1}^n \frac{\sum_{j=1}^z f_{ij}(t)}{m_i}$$

Функция $f_{ij}(t)$ описывает характер изменения издержек элементов продукта в пределах конкретных этапов их жизненных циклов.

Предложенная модель была использована для разработки инновационных конструкций роботизированных систем пожаротушения (РСП) [4-6]. Модель достаточно хорошо зарекомендовала себя в разработке пожарных роботов, но большое количество факторов, определяющих конструкцию РСП, не позволяло эффективно использовать её на практике.

Для решения задачи уменьшения числа факторов, анализируемых и учитываемых при разработке новых РСП, представляется перспективным использовать технологии искусственного интеллекта [4].

Новизна предлагаемого подхода к конструированию ПР заключается в поэтапном и совместном использовании технологий искусственного интеллекта и УИП (рис. 2).

На первом этапе путем использования генетических алгоритмов реализуется статистический «макроподход» к созданию конструкции ПР на уровне физических систем (механические, электрические, оптические и др.), обеспечивающих комплектацию изделия для выполнения возложенных на него функций.

На втором этапе осуществляется дальнейшая разработка выбранных систем на «микроуровне», т. е. системы оптимизируются по УИП для обеспечения максимально возможного инновационного уровня разработки.

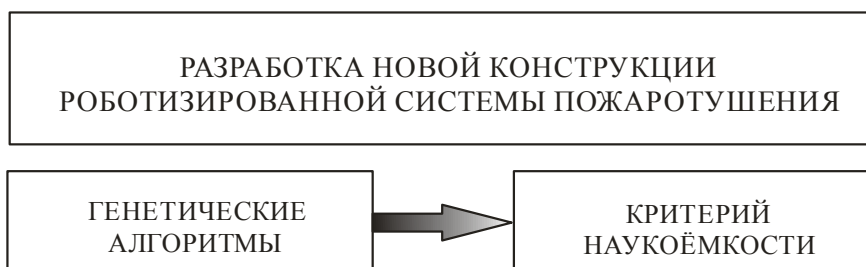


Рисунок 2 – Схема подхода к разработке инновационных роботизированных систем пожаротушения.

Предложенная методология, благодаря использованию генетических алгоритмов и критерия наукоёмкости (УИП), может обеспечить создание не только современных РСП, но и составляющих их компонентов. Для этого РСП должна рассматриваться как сложная система с её последующим анализом на каждом уровне структурной иерархии.

Новые конструкции пожарных роботов и их элементов.

Предложенные основы теории создания ПР использованы для разработки их новых конструкций [6-7], в частности устройств порошкового пожаротушения. Разработанные конструкции отличаются высокой степенью однородности порошкового огнетушащего материала и повышенной экономичностью (рис. 3). Полученный результат достигается тем, что перевод порошкового огнетушащего материала в псевдооживленное состояние осуществляют путем одновременного воздействия на него направленного газообразного потока и вибрационных колебаний [8-9].

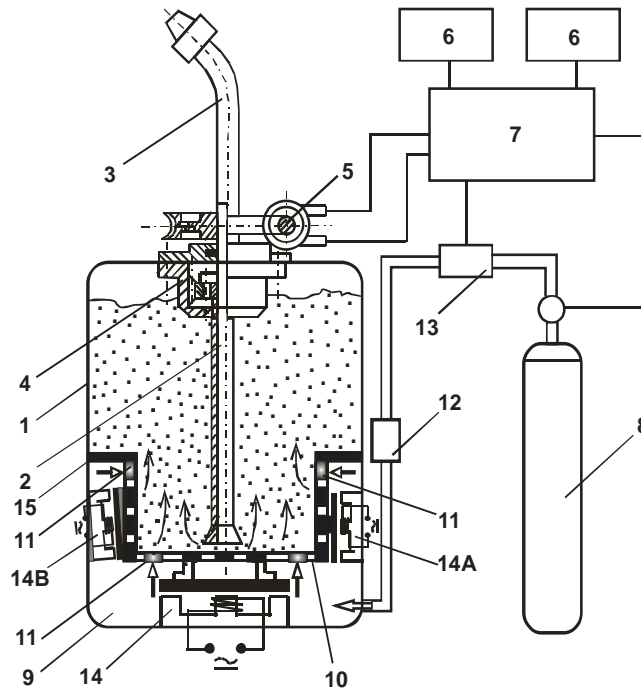


Рисунок 3 – Схема пожарного робота с вибровихревым псевдооживлением порошкового огнетушащего материала: 1 – резервуар; 2 – трубка сифонная; 3 – патрубок выходной; 4 – ствол лафетный; 5 – привод; 6 – датчики; 7 – система координации действий; 8 – источник сжатого газа; 9 – камера напорная; 10 – перегородка воздухопроницаемая; 11 – клапан запорный; 12 – система осушительная; 13 – система фильтрационная; 14 – вибратор электромагнитный; 15 – элементы упругие.

Кроме новых конструкций пожарных роботов предложено также устройство управления ими [7], отличающееся тем, что принцип его работы предусматривает использование элементов нейросетевых технологий.

Испытания пожарных роботов и их элементов.

Испытания лафетных стволов ПР производили с целью проверки соответствия паспортных характеристик устройств фактическим, присущим конкретным моделям лафетных стволов ПР. Это позволило обоснованно использовать оборудование при разработке проектов РСР. Кроме того, были предложены оригинальные конструкции испытательного оборудования [10-12], обеспечивающего получение новых технико-экономических характеристик лафетных стволов, например, оценку степени силового воздействия струи огнетушащего вещества на элементы инфраструктуры и людей, оказавшихся в очаге пожара. Программа испытания лафетных стволов предусматривала также экспериментально-теоретическое определение траектории струи огнетушащего вещества при переменных значениях рабочего давления в магистрали, угла наклона к горизонту и ряда других параметров.

Размещение пожарных роботов на защищаемых объектах.

Для решения поставленной задачи ранее разработанное программное обеспечение [13-15] было в значительной степени усовершенствовано, в первую очередь, в части оптимизации расчётного алгоритма. В версии ПО v. 3.1 предусмотрена возможность задания высоты объекта и элементов, размещаемых на нем – решение пространственной задачи. Существенно повышена точность определения областей плана объекта; появилась удобная технологическая новинка – возможность «перетаскивания» роботов и элементов, размещенных на объекте, при помощи «мыши».

В расчетном алгоритме струя огнетушащего вещества описывается зависимостью, близкой к параболической, определённой теоретически и экспериментально в процессе

испытаний ПР. Еще одной новинкой ПО явилось введение в расчетный алгоритм теста на «столкновение» (столкновение струи воды с элементом), используемого для повышения точности вычислений. Физическая работа модели во время тестирования подтверждается появлением на плане объекта зон недосагаемости (теней), возникающих на стороне элемента, противоположной той, на которой расположен ПР. В расчетах на данном этапе разработки ПО не учитывается возможное разбрызгивание огнетушащего вещества и влияние сопротивления окружающей среды.

Задача оптимального размещения ПР на реальном защищаемом объекте является объемной, т. е. должна реализовываться в 3D-пространстве. При этом создание и исследование пространственной модели должны завершаться выдачей конкретных координат установки ПР на объекте.

Переход к пространственной модели потребовал и принципиально новых технологических подходов при разработке ПО и его последующем использовании. В новой версии программы появилась возможность осуществлять анализ эффективности пожаротушения по высоте объекта. Это представляется крайне важным, так как позволяет учитывать наиболее пожароопасные места объекта и расположенных на нем элементов. Это, в свою очередь, обеспечивает более эффективное решение боевой задачи по ликвидации возгорания. Для реализации пространственной задачи в главном меню появилась кнопка «3D-вид».

Технологические возможности разработанного программного обеспечения рассмотрим на примере определения факторов и условий установки ПР на защищаемом объекте – цехе автотранспортного предприятия с размерами 40×18×8 м. В расчетах использовались габариты реальных автотранспортных средств – автобусов МАЗ моделей 152 и 103 (габариты 12×2,5×3,5 м и 12×2,5×2,8 м, а также микроавтобусов Mercedes-Benz Sprinter (5,2×1,9×2,1 м) [16].

На рис. 4 представлено окно программы с планом цеха предприятия и находящимися в нем автотранспортными средствами (обозначены на плане белыми прямоугольниками). Использование автоматической расстановки ПР с заданными техническими параметрами, приведенными в соответствующих местах окна программы, показало, что в качестве исходного варианта для защиты объекта можно использовать систему с 6 автоматическими устройствами пожаротушения, размещаемыми по периметру помещения и установленными на высоте 6 м. При этом, площадь, контролируемая двумя роботами и более, составила 85,47 % от общей площади цеха, одним ПР – 12,54 %; неконтролируемая площадь – 1,98 %.

Как уже отмечалось нами ранее [13-15], оптимальная расстановка ПР на объекте должна осуществляться с обязательным учетом экономичности проекта в целом. Обеспечить экономичность проекта можно, например, путем уменьшения числа устанавливаемых на нем ПР. Однако при этом обязательным является соблюдение требований пожарной безопасности, предъявляемых к объекту или размещаемым на нем элементам (машинам, технологическим линиям, местам складирования материалов, постройкам и др.). Для реализации концепции экономичности в режиме ручной расстановки осуществляли перемещение двух роботов на плане цеха: одного по правой, а второго – по левой стороне помещения (новые координаты роботов 1; 12 и 39; 6 м). Произведенные перемещения позволили увеличить размер площадей, контролируемых двумя и более роботами до 94,05 % (было 85,47 %). Площадь, контролируемая одним ПР уменьшилась до 5,94 % (12,54 %). Одновременно перемещение позволило полностью избавиться от неконтролируемых площадей (1,98 %). Последующая оптимизация экономичности проекта производилась путем варьирования числа ПР и их технико-экономических характеристик при заданном уровне требований к пожарной безопасности объекта. Для этого в ручном режиме были удалены два ПР с координатами 20; 1 и 20; 17 м (рис. 4), располагавшиеся в середине больших сторон цеха. После удаления двух роботов степень защищенности объекта несколько изменилась: двумя и более роботами контролируется 81,02 % всей площади цеха, одним роботом –

18,97 %, незащищенных площадей нет. Важным является также то, что достичь такого результата удалось путем использования ПР с радиусом действия 35 м.

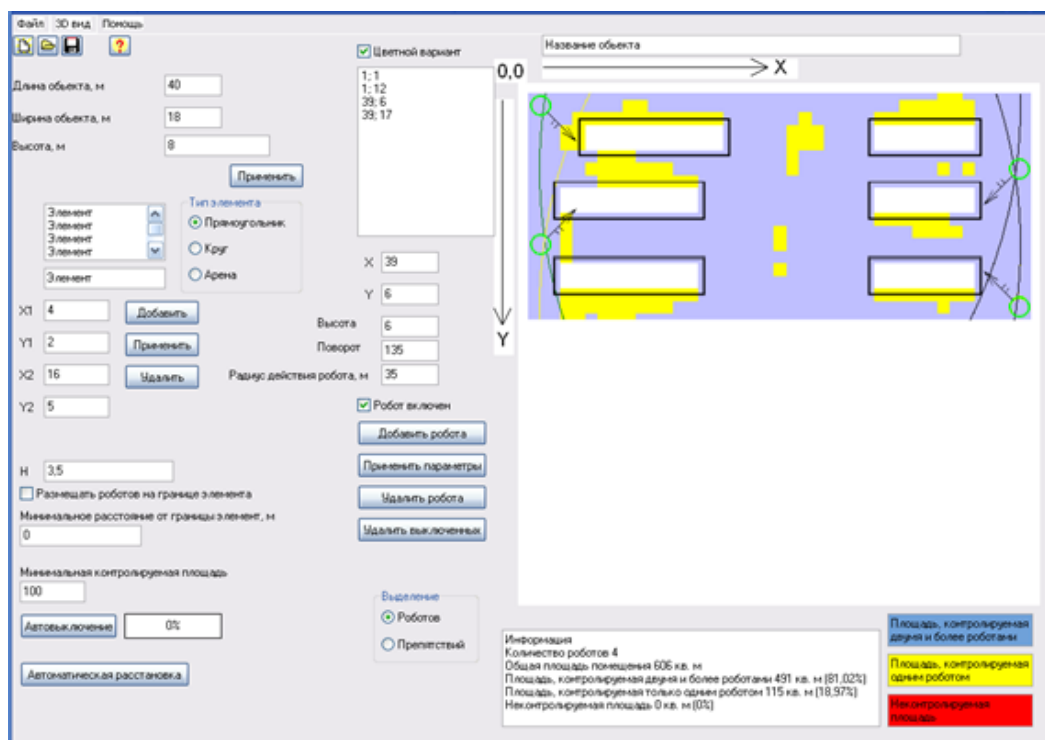


Рисунок 4 – Окно формы программы (трехэлементный объект, радиус действия РПК – 50 м).

Разработанное ПО v. 3.1 позволяет оценить эффективность пожаротушения по высоте защищаемого объекта. При этом переход от 2D к 3D-моделированию осуществляется путем использования опции «3D-вид» в главном меню программы и заданием для расчета требуемой высоты объекта (Н, поле находится в середине левой стороны окна программы). Результаты таких расчетов графически отображаются на плане объекта, а также в информационном окне программы (нижняя правая часть окна), и наглядно качественно и количественно демонстрируют степень противопожарной защищенности элементов, располагаемых на объекте, и объекта в целом.

Расчеты показывают, что высота установки ПР оказывает существенное влияние на степень противопожарной защищенности объекта (рис. 4, 5). Кроме высоты установки ПР на защищенность объекта влияет также высота самих автотранспортных средств (элементов), располагаемых на объекте.

Так, для автобусов МАЗ-152, отмечена нелинейная зависимость степени защищенности объекта от высоты установки ПР. Характерно, что близкие к максимальным значениям показатели защищенности объекта двумя ПР имеют место в случае, когда высота их установки превышает высоту самих автотранспортных средств, т. е. начиная примерно с 4 метров. Для данного типа автотранспортных средств оптимальной является установка ПР на высоте 6 м. При этом наибольшая часть площади цеха защищена двумя ПР, незначительная часть – одним ПР при полном отсутствии незащищенных площадей.

Уменьшение высоты автотранспортных средств (высота микроавтобусов составляла 2,1 м) существенно изменило соотношение между площадями объекта, защищенными одним и двумя ПР, а также полностью незащищенными от пожара (рис. 5).

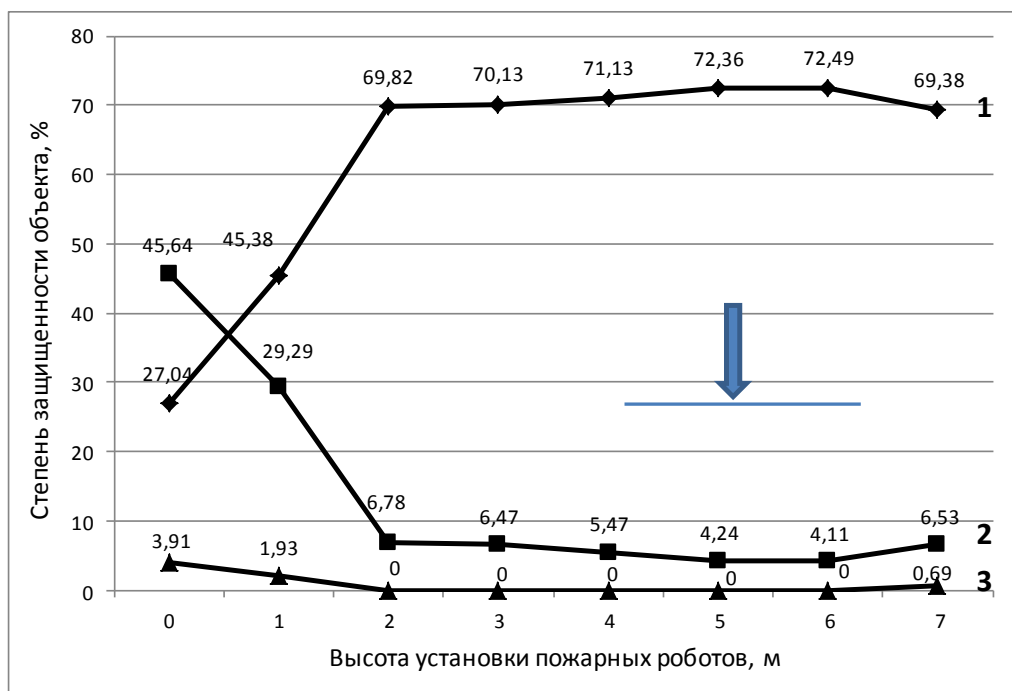


Рисунок 5 – Влияние высоты установки пожарных роботов на степень защищенности объекта (1 и 2 – величины площадей объекта, защищенных двумя и одним пожарным роботом, соответственно; 3 – величина незащищённой площади объекта; защищаемый объект – микроавтобусы; абсолютные значения степени защищенности объекта приведены без учета площадей элементов на плане объекта).

Следует отметить, что в случае микроавтобусов заметно расширилась зона оптимальной установки ПР в цехе (показана стрелкой с прямой, параллельной горизонтальной оси на диаграмме). Практически предоставляется возможным устанавливать ПР на высотах от 2 до 7 метров. Это существенно расширяет технологические возможности проектировщиков, как при создании новых предприятий с системами автоматического пожаротушения, так и при реконструкции уже действующих цехов и объектов. С учетом наибольших значений площадей цеха, защищенных двумя ПР и соблюдения условия отсутствия незащищенных площадей, для данного объекта представляется наиболее выгодным установка ПР на высотах от 4 до 6 метров.

В результате проведенной оптимизации удалось не только сократить число роботов, размещаемых на объекте, но и получить дополнительную экономию за счёт снижения стоимости использованных лафетных стволов и других элементов роботизированных систем пожаротушения, например, противопожарных резервуаров, водных и электрических коммуникаций и др.

Обозначим некоторые подходы к оценке экономической эффективности использования пожарных роботов в системах автоматического пожаротушения. Ранее мы уже отмечали, что методической основой такой оценки могут быть системный анализ и жизненный цикл продукта [17]. Нам также представляется важным выделить прямую и косвенную экономические составляющие. К прямой экономии, например, могут относиться затраты на приобретение оборудования (ПР, коммуникационные магистрали, элементы сенсорных систем и др.) и стадию проектирования системы пожаротушения. Косвенная экономия реализуется в сниженных издержках на монтаж составляющих элементов системы, например, коммуникаций, их обслуживания и тестирования в процессе эксплуатации, необходимости иметь в наличии дополнительные ёмкости для огнетушащего вещества и др.

3D-режим моделирования был использован для оптимизации расстановки ПР в ангаре-укрытии для воздушных судов в национальном аэропорту «Минск» (рис. 6).

Реализованные проекты.

В результате комплекса проведенных работ была спроектирована и создана роботизированная система пожаротушения для дворца легкой атлетики в г. Гомель (рис. 7). Следует отметить, что РССП была единственным вариантом противопожарной защиты столь уникального спортивного сооружения. Традиционные системы пожаротушения, например, спринклерные, не могли быть использованы по причине малой несущей способности конструкций деревянных клееных перекрытий.



Рисунок 7 – Внешний вид арены дворца лёгкой атлетики в г. Гомель с установленными пожарными роботами.

В настоящее время завершаются пусконаладочные работы на втором по счёту объекте, противопожарная защита которого обеспечена РССП, – ангаре-укрытии для воздушных судов в национальном аэропорту «Минск».

Выводы.

- Разработаны основы теории создания пожарных роботов, включая последовательное использование методов генетических алгоритмов и оценки удельного информационного показателя для макро- и микрооптимизации создаваемых конструкций. Предложенная методология позволяет не только создавать, но и предлагать перспективные направления развития роботизированных систем пожаротушения и их элементов.

- С использованием предложенных основ теории разработаны новые конструкции пожарных роботов и их элементов.

- Проведены комплексные натурные испытания роботизированных систем пожаротушения.

- Разработано оригинальное программное обеспечение, представляющее возможность оптимальной расстановки РПК на защищаемом объекте. Эффективность разработанного программного обеспечения подтверждена сравнительными расчётами, показавшими, что предложенный алгоритм позволяет до 18% экономить количество пожарных роботов, устанавливаемых на объекте, при полном соблюдении требований к его пожарной безопасности.

- Результаты исследований использованы при создании роботизированной стационарной системы пожаротушения во дворце легкой атлетики (г. Гомель) и ангаре-укрытии для воздушных судов в национальном аэропорту «Минск».

Перспективы дальнейших исследований.

Перспективное развитие проекта предусматривает комплекс работ в рамках направлений, обозначенных в настоящей статье.

Количество объектов, защищаемых роботизированными системами пожаротушения, неуклонно растёт практически во всех странах. РССП, безусловно, имеют большие

перспективы. В этом нас убеждает быстро меняющийся вокруг нас мир, в котором вопросы безопасности и человеческие жизни начинают становиться реальными приоритетами для всех.

Информационная поддержка проекта осуществляется сайтом www.rffs.org.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Вагнер П. Человечество и пожары. – М.: ООО ИПЦ Маска, 2007. – 142 с.
2. The U.S. fire problem. Режим доступа: <http://www.nfpa.org/categoryList.asp?categoryID=953&URL=Research/Fire%20statistics/The%20U.S.%20fire%20problem>. Дата доступа 04.04.2011.
3. Потеха А. В., Потеха В. Л. Пожарные роботы. Основные термины и определения // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2007, т. 2, № 2. – С. 60-68.
4. Здор, Г. Н. Инновационный подход к созданию роботизированных систем пожаротушения / Г. Н. Здор, А. В. Потеха // Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино- и приборостроении: материалы междунар. науч.-практ. конф. / редкол.; Хрусталёв Б. М. (гл. ред.) [и др.] Минск: Бизнесофсет, 2013. – С. 19-20.
5. Смирнова, В. А. Анализ удельной информационной ёмкости продукции предприятий Гомельской области / В. А. Смирнова, А. В. Потеха // Социально-экономические основы управления экономическим потенциалом региона: материалы Международной научно-практической конференции (16-17 октября 2003 г., г. Гомель). – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2003. – С. 208-211.
6. Патент 5350 U Республика Беларусь, МПК⁷ А 62 С 35/00. Роботизированный пожарный комплекс / Потеха А. В. и др.; заявл. 07.07.2008; опубл. 30. 06.2009. Патент 4742 U Республика Беларусь, МПК⁷ А 62С 37/00.
7. Устройство управления роботизированным пожарным комплексом / Потеха А. В. и др.; заявитель и патентообладатель Учреждение образования «Гродненский государственный университет им. Я. Купалы»; заявл. 26.02.2008; опубл. 30. 10.2008.
8. Потеха, А. В. Повышение эффективности автоматизированных систем порошкового пожаротушения путем использования вибровихревых технологий // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2007, т. 2, № 1. – С. 41-45.
9. Потеха, А. В. Повышение эффективности роботизированных пожарных комплексов путем использования вибровихревых технологий // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2008, № 1 (23). – С. 87-95.
10. Потеха, А. В. Конструкционное обеспечение испытаний лафетных стволов пожарных роботов // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2012, № 2 (7). – С. 127-133.
11. Патент 8308 U Республика Беларусь, МПК⁷ А 62С 35/50. Опора роботизированного стационарного пожарного комплекса / Потеха А. В., Леванович А. В.; заявители и патентообладатели Учреждение образования «Гродненский государственный аграрный университет» и Учреждение «Гродненское областное управление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»; заявл. 07.10.2011; зарегистр. 16.03.2012.
12. Патент 8309 U Республика Беларусь, МПК⁷ G 01L 19/10. Устройство для испытаний лафетных стволов пожарного робота / Потеха А. В., Леванович А. В., Потеха В. Л.; заявители и патентообладатели Учреждение образования «Гродненский государственный аграрный университет» и Учреждение «Гродненское областное управление Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь»; заявл. 10.10.2011; зарегистр. 16.03.2012.
13. Потеха А. В. Программное обеспечение для решения задачи оптимального размещения роботизированных пожарных комплексов на одноуровневых объектах // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2010, № 2 (28). – С. 109-117.
14. Потеха, А. В. Размещение роботизированных пожарных комплексов на одно- и многоэлементных одноуровневых объектах / А. В. Потеха, В. Л. Потеха // Пожежна безпека: теорія і практика: Збірник наукових праць. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2011, № 8. – С. 80-87.
15. Потеха, А. В. Оптимизация размещения пожарных роботов на одно- и многоэлементных одноуровневых объектах / А. В. Потеха, В. Л. Потеха // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. – 2011, № 1 (29). – С. 89-99.
16. Потеха А. В. 3D-моделирование процесса расстановки пожарных роботов в цехах по ремонту и обслуживанию автомобилей / А. В. Потеха, Н. Л. Мышковец, И. А. Пахомова, А. С. Синкевич // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2011, № 2 (6). – С. 21-27.