

## ООО «Инженерный центр пожарной робототехники «ЭФЭР»

185031, Карелия, г. Петрозаводск, ул. Заводская, 4  
Тел./факс: +7 (8142) 77-49-23, 57-34-23, 77-49-31



### К 100-летию роботов

## Пожарные роботы в пожарной автоматике: научно-технические исследования, алгоритмы поведения и дизайн

### Из истории роботов

Упоминания разумных искусственных созданий впервые появились в художественно-фантастических произведениях. Среди них — широко известный роман Мэри Шелли «Франкенштейн», герой которого стал прообразом множества книжных, драматических и кинематографических персонажей. В пьесе Карела Чапека «Р.У.Р.», написанной в 1920 г., искусственные создания, заменяющие человека на каторжных работах, были названы роботами. Пьеса, по словам Айзека Азимова, стала бессмертной из-за слова «робот», вошедшего во все языки мира.

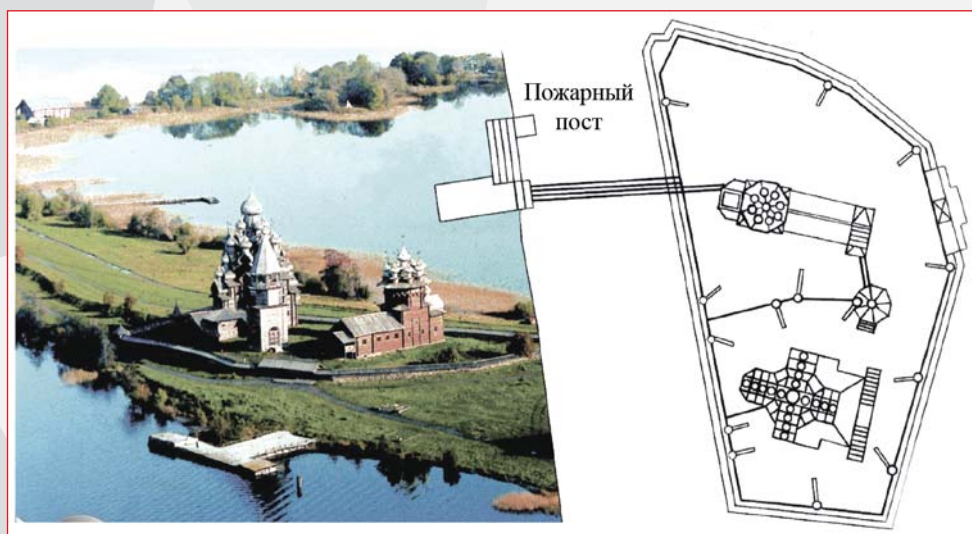
В 2020 г. отмечается уже 100-летний юбилей этих созданий с именем «робот». Сам Айзек Азимов для роботов ввел ставшие популярными три закона робототехники.

Уже со второй половины XX в. роботы стали основой технического прогресса, и на многих

машиностроительных предприятиях монотонный труд человека эффективно замещался промышленными роботами. Особенно значимо применение роботов в экстремальных условиях, среди которых можно выделить тушение пожаров — здесь используются пожарные роботы, освобождающие человека от опасной для жизни работы.

### Роботизированные установки пожаротушения

Бурное развитие электроники и информационных технологий привело к значительным изменениям и в пожарной автоматике, неотъемлемой частью которой являются пожарные роботы. В наш цифровой век информационных технологий приоритет должен быть за интеллектуальными программируемыми системами, реагирующими на реальное развитие событий и обладающими функциями саморегулирования.



**Рис. 1.** Первый пожарный робот в России (1984 г.), предназначенный для защиты памятников деревянного зодчества музея-заповедника «Кижи»

В пожарной автоматике широкое распространение получили стационарные роботы, которые, как и промышленные роботы, имеют постоянное базирование. Они успешно заменяют традиционные спринклерные системы, которые, по сути, не претерпели изменений с XIX в.

Первый пожарный робот в нашей стране был создан в 1984 г. для защиты памятников деревянного зодчества музея-заповедника «Кижи» как альтернатива спринклерной системе, которую было сложно технически применить для наружного пожаротушения (рис. 1). Пожарные роботы первого поколения приняли также непосредственное участие в ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. С учетом приобретенного опыта для защиты машинных залов Ленинградской АЭС был разработан и успешно внедрен комплекс роботизированных установок пожаротушения, удостоенный золотой медали на ВДНХ. В дальнейшем работы, проводившиеся Петрозаводским инженерным центром пожарной робототехники при тесном взаимодействии с Всероссийским ордена «Знак Почета» научно-исследовательским институтом противопожарной обороны (ВНИИПО) МЧС России, привели к созданию нового научно-технического направления — пожарной робототехники. По результатам этих работ Россия является первой страной мира, где законодательно и нормативно введен новый вид автоматических установок пожаротушения — роботизированные установки пожаротушения (РУП). Требования к РУП установлены Федеральным законом «О пожарной безопасности» № 123-ФЗ и нормативными документами ГОСТ Р 53326–2009, СП5.13130.2009 и ВНИПБ 39-20.

### Научно-технические исследования

В процессе научно-технического поиска были заложены основные решения по устройству пожарных роботов и их составляющих компонентов, которые отражены в патентах № 1824207, 2050872, 2128536. Пожарный робот включает в себя рабочий орган — ствол с мехатронной системой, сенсорную часть и систему управления. Ствол имеет механизмы управления пространственным положением и состоит из подвижных звеньев. Подвижные звенья конструктивно выполнены для возможности перемещения в них потока жидкой среды под давлением.

Со временем сформировались требования к внешнему виду пожарного робота, в котором должны сочетаться приемлемое эстетическое восприятие и выполнение функций, обусловленных условиями эксплуатации изделия. По сути, робот пожарный, предназначенный для замены пожарного ствольщика в опасных местах, должен эргономически соответствовать параметрам человека в опе-

ративной меняющейся обстановке и выполнять действия его команд (рис. 2).

Промышленный дизайн изделия по патенту № 90498 и применение шарового поворотного канала позволили создать компактную конструкцию, в которой все мелкие элементы, датчики и кабели заключены в защитную обтекаемую оболочку с выделенной головной частью, оборудованную оптическими устройствами обнаружения

загорания, со стволом-автоматом, гармонично вписанным в корпус. Принятая компоновка пожарного робота с размещением оборудования в едином защищенном корпусе обеспечивает защиту от влияния внешней среды (температурных, климатических и механических воздействий).

В порядке выполнения работ по импортозамещению были созданы отечественные извещатели пламени ИП 328/330-1-1 во взрывозащищенном исполнении и на их базе — пожарные роботы во взрывозащищенном исполнении (рис. 3).



Рис. 2. Пожарный робот



а



б

Рис. 3. Извещатель пламени ИП 328/330-1-1-Ex (а) и пожарный робот для защиты операционного зала объекта МИК (Роскосмос) (б)

Обнаружение пламени осуществляется за счет комплексного кадрового анализа изображения с инфракрасной (ИК) матрицы и видеокамеры. На изображении с ИК-матрицы определяются области повышенной температуры, для этих областей производится накопление и оценка параметров флуктуации температуры, динамики границ и структуры. Также эти области анализируются на наличие характерных признаков пламени на видеоизображении (флуктуации, цвет, динамика изменения границ). При обнаружении пламени устройство обнаружения передает координаты очага пожарному роботу. Пожарные роботы передают информацию об обнаруженных очагах загорания в устройство сопряжения с объектом, которое методом триангуляции с учетом погрешностей результатов измерений определяет местоположение очага в защищаемой зоне в трехмерной системе координат.

Следует отметить проведенный большой комплекс работ по исследованию баллистики струй. Одной из основных задач пожарного робота является наведение струи на очаг загорания по заданным координатам и тушение очага загорания по заданной площади с заданной интенсивностью орошения.

Угловые координаты очага загорания в горизонтальной плоскости совпадают с угловыми координатами наведения ствола. В вертикальной плоскости ввиду параболической траектории струи угол наклона ствола для попадания в цель должен быть выше угловой координаты цели (очага загорания). Разность между ними образует угол возвышения, который зависит от многих факторов: расстояния до очага, угла цели, давления в сети,

расхода, угла распыливания, конструкции насадки. Задача наведения струи на очаг загорания по заданным координатам сводится к определению угла возвышения. При этом нужно знать параметры расчетной траектории, чтобы она с достаточной точностью совпадала с реальной траекторией струи. Для определения полета струи известные уравнения баллистики, связанные с полетом тел, могут приближенно использоваться только на начальной траектории. Это связано с необходимостью учета целого ряда параметров, относящихся к струям, связанных с изменением площади сечения струи, изменением формы и массы частиц воды, дробящихся в полете, переходом компактной струи к турбулентному потоку жидкости и воздуха с изменяющейся плотностью массы.

Ввиду большого количества факторов, влияющих на траекторию струи, и отсутствия математического уравнения траектории струи, был разработан программный метод с использованием экспериментальных данных из семейства траекторий, полученных опытным путем и заложенных в базу данных. Для формирования базы данных реальных координат проводилась инженерная фотосъемка траекторий струй с сотнями экспериментов по показателям расхода, давления и угла распыла в функции угла наведения и был разработан метод аппроксимации траекторий струй на основе данных, полученных экспериментальным путем (рис. 4 и 5). Проведенная научно-исследовательская работа по баллистике струй, основанная на опытных данных и подтвержденная многочисленными экспериментами, не имеющая аналогов, позволила решить актуальную задачу по автоматическому наведению струи на очаг загорания

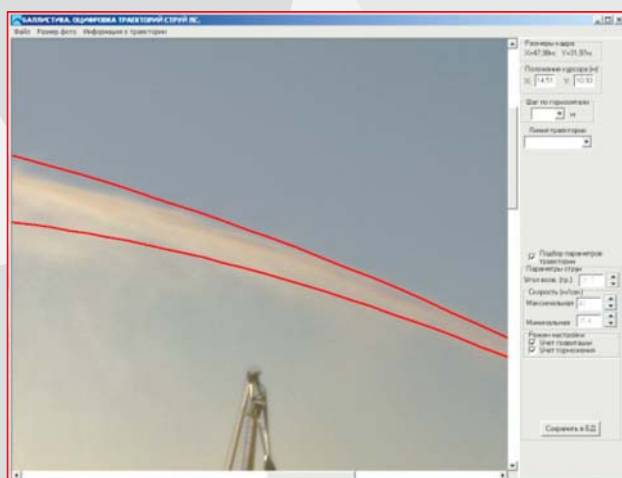


Рис. 4. Фрагмент фотосъемки струи с выделенными границами траектории

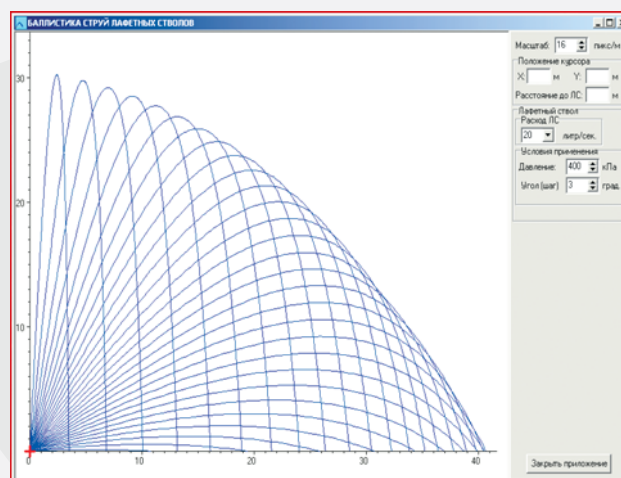
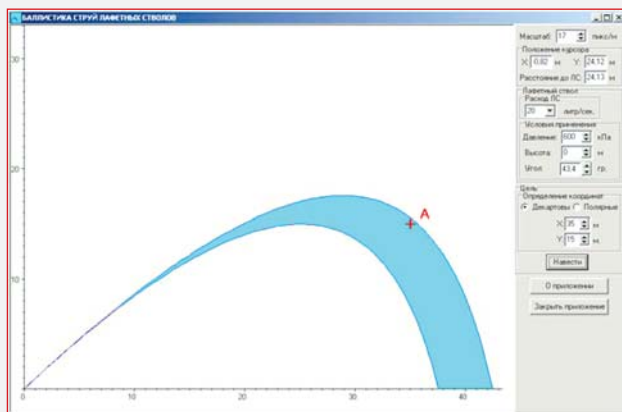


Рис. 5. Траектории струй в функции угла наведения для данных расхода и давления





**Рис. 6.** Приложение для расчета траекторий струй и определения угла наведения струи к точке цели<sup>1</sup>

по заданным координатам и тушению очага по заданной площади с заданной интенсивностью орошения. Результаты этой работы представлены в монографии Ю.И. Горбаня «Пожарные роботы и ствольная техника в пожарной автоматике и пожарной охране»<sup>2</sup>.

Точность подачи струи на очаг загорания по заданным координатам по баллистической траектории зависит и от внешних факторов, например изменения давления в напорной сети; для

<sup>1</sup> Инженерный центр «ЭФЭР». URL: Режим доступа: firerobots.ru

<sup>2</sup> Горбань Ю.И. Пожарные роботы и ствольная техника в пожарной автоматике и пожарной охране. М.: Пожнаука, 2013.

наружных установок — это наличие ветра, который отклоняет струю. Техническими решениями по европатенту 2599525 Automated FFC integrating a tv-system в извещатель пламени ИП 328/330-1-1 введена функция определения положения струи относительно очага загорания. Это позволяет проводить коррекцию наведения струи относительно расчетных данных определения координат баллистической траектории струи.

Были проведены исследования по распознаванию струи, которые определили принятые решения (рис. 7). На фото зеленым цветом выделены области, где имеются изменения по сравнению с фоном. Синим цветом показан результат аппроксимации верхней части контура (полиномом второй степени) с учетом влияния перспективы. Как видно, очертание синей кривой совпадает с баллистической траекторией струи. Данные о положении струи в сочетании с данными, получаемыми в ИК-диапазоне, позволяют корректировать углы наведения струи огнетушащего вещества (ОВВ) на очаг в реальном времени. Это дает возможность реализовать совершенно новые автоматические системы пожаротушения для наружных установок и применять безлюдные технологии, особенно важные для объектов в малонаселенных территориях Сибири и Севера.



**Рис. 7.** Оцифрованный видеокادر с идентификацией потока жидкости

### Алгоритмы поведения пожарных роботов

Проведенная работа позволила создать новые цифровые умные продукты — пожарных роботов, кардинально изменивших подход к организации процесса тушения для водяных автоматических установок пожаротушения, положив в основу сочетание принципов автоматического управления в соответствии с заданным алгоритмом управления. В основу алгоритмов поведения пожарных роботов в условиях недетерминированной среды в меняющейся обстановке пожара заложены профессиональные наставления, характерные для пожарного дела. Это, по сути, программные установки — постулаты, апробированные на практике и подтвержденные патентами, которые представлены в виде тезисов с алгоритмами решения поставленных задач, озаглавленных, как и положено в боевой обстановке, короткими, как приказ, названиями. Данные по алгоритмам и программам их реализации приведены в таблице «Алгоритмы и программы».

### От 3D-модели до цифрового производства

В настоящее время пожарных роботов выпускают серийно на заводе пожарных роботов «ЭФЭР» (рис. 8). Все подразделения «ЭФЭР» используют единое информационное пространство для организации цифрового производства, ведь не-

возможно создавать умные устройства — пожарных роботов — без постоянной автоматизации всех процессов — от разработки до производства. Производство оснащено современными станками с программным управлением, а цифровые двойники изделий доступны для совместной работы в PLM-системе, что значительно ускоряет операционное планирование.

В разработке сложных изделий участвуют инженеры разных специализаций: конструкторы, проектировщики, схемотехники, электронщики, программисты, технологи и экономисты, которые нуждаются в эффективных инструментах управления своими задачами для совместной работы над устройствами. В течение цикла производства изделий разработчики взаимодействуют между собой с помощью интегрированных друг с другом цифровых платформ, каждая из которых решает конкретные задачи специалистов. Проектный отдел согласовывает с заказчиком основные технические решения в наглядном конфигураторе, после чего создается проект будущей установки пожаротушения. Конструкторское бюро использует системы автоматического проектирования для создания моделей изделия и виртуального тестирования будущей конструкции. К инженерам-технологам поступают готовые данные о деталях для загрузки в станки с программным управлением. Экономисты в режиме реального времени получают данные для анализа себестоимости и трудозатрат.



Рис. 8. Завод пожарных роботов и ствольной техники

## Алгоритмы и программы

| № п/п | Наименование алгоритма                | Задачи и алгоритмы решения<br>Комментарий                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Наименование программы                                                                                                                 |
|-------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Готовность к защите                   | 100%-ная готовность к защите объекта. Обеспечивается надежностью и самотестированием всех элементов, с регистрацией событий на удаленном сервере с санкционированным доступом                                                                                                                                                                                                                                                                     | Программа самотестирования и регистрации событий на сервере                                                                            |
| 2     | Предупреждение о возможном загорании  | Предупреждение о наличии аномально нагретых зон, предшествующем загоранию. Пожарный робот ведет наблюдение в ИК-диапазоне и при температуре, близкой к возгоранию, в местах вероятного нагрева (кабели, электрооборудование и др.) сообщает о месторасположении аварийного участка                                                                                                                                                                | Предупредительный мониторинг                                                                                                           |
| 3     | Наведение по координатам              | Основная задача пожарного робота: определение координат очага возгорания и тушение его струей. Координаты очага определяются по данным датчиков наведения в ИК- и УФ-диапазонах и расстояния. Струя наводится по специальному алгоритму на основе базы данных реальных траекторий струй                                                                                                                                                           | Базовая программа по определению координат очага загорания с учетом расстояния и баллистики струй                                      |
| 4     | Раннее обнаружение, быстрое тушение   | Определить очаг загорания в начальной стадии и тушить всем расходом (мечта пожарного). Для пожарного робота норма — обнаружить очаг загорания размером 0,1 м <sup>2</sup> и тушить его всем расходом. При таком сосредоточении мощности потушить очаг в начальной стадии — решаемая задача                                                                                                                                                        | Поиск очага загорания и тушение струей сканированием по площади. Программа блиц-мониторинга                                            |
| 5     | Контроль пожара                       | Следить за меняющейся пожарной обстановкой. Принимать меры соответственно развитию пожара                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Программа контроля пожара                                                                                                              |
| 6     | Целевое применение воды               | Не подвергать объект защиты воздействию избыточной воды. При отсутствии горения тушение прекращается. Вода подается только в направлении огня, не причиняя ущерб от воздействия воды участкам, не подверженным действию огня                                                                                                                                                                                                                      | Программа отключения тушения при отсутствии горения. Программа селективной подачи воды                                                 |
| 7     | Контроль наведения на очаг            | Контроль наведения струи относительно фактического расположения очага загорания. Наведение струи корректируется при ее отклонении от очага загорания из-за действия внешних факторов                                                                                                                                                                                                                                                              | Программа коррекции наведения по местоположению струи                                                                                  |
| 8     | Эффективное тушение                   | Тушить эффективной частью струи горящую поверхность очага. Эффективность тушения при циклическом тушении строчным сканированием струи по площади обеспечивается равномерностью подачи, определяемой правильно выбранным шагом сканирования, который приравнивается к размеру эффективной части струи с наиболее высокой интенсивностью                                                                                                            | Программа оптимизации и контроля параметров тушения. Программа селективного тушения                                                    |
| 9     | Живучесть системы                     | Обеспечение работоспособности при пожаре. В экстремальных условиях пожарный робот может выйти из строя или частично потерять свои функции. Высокая живучесть: достигается 100%-ным резервированием с глубоким эшелонированием функциональных органов управления. На смену роботу, вышедшему из строя, приходит второй. При отказе автоматической системы производится переход на дистанционный режим, при отказе дистанционного — на ручной режим | Программная организация резервных режимов работы при отказах системы. Программа автоматического включения резервного пожарного робота. |
| 10    | Выбор приоритета                      | Приоритет команд человека над программными командами. В системе «человек — машина» человек — главный. Оператор при необходимости может взять управление на себя, перейдя в дистанционный режим, и его команды обязательны для робота                                                                                                                                                                                                              | При разработке программ учитывается приоритет команд управления                                                                        |
| 11    | Связь в пространстве и времени        | Связь с роботом для контроля и перезагрузки. Возможность обновления программного обеспечения и сбора данных о стабильности работы системы через Интернет позволяет заводу-изготовителю и обслуживающей организации сохранять все рабочие функции установок в течение всего срока службы роботов                                                                                                                                                   | Программа удаленного доступа через Интернет и мобильную связь                                                                          |
| 12    | Обеспечение нормативной интенсивности | Обеспечение нормативной интенсивности орошения, установленное Федеральным законом «О пожарной безопасности» ФЗ-123 для установок автоматического водопенного пожаротушения. Требование должно подтверждаться при программном тушении минимальной площади                                                                                                                                                                                          | Программа оптимизации и контроля параметров тушения                                                                                    |





а



б



в



г

**Рис. 9.** Реализованные проекты: а — Петрозаводская ТЭЦ; б — стадион «Газпром Арена» в — космодром Восточный; г — завод «Силовые машины – Тошиба. Высоковольтные трансформаторы»

### На защите объектов страны

Роботизированные установки пожаротушения нашли широкое распространение, защищая тысячи значимых объектов по всей стране (рис. 9), в том числе особо важных и социально значимых: стадионы «Газпром Арена» (Санкт-Петербург), «Лужники» (Москва), спортивно-тренировочный центр «Тамбов» (Тамбов); космодромы «Плесецк», «Восточный», аэропорты «Шереметьево», «Внуково», «Остафьево», «Минск»; промышленные объекты — заводы концерна «Алмаз-Антей»; объекты нефтегазового комплекса: нефтеперерабатывающие заводы Сызранский, Московский, Туапсинский, Ачинский и др., нефтяные платформы компании

«Лукойл», нефтяные морские терминалы в Бургасе и по проекту «Сахалин-1», объекты энергетики: Ленинградскую АЭС, Петрозаводскую и Барнаулскую ТЭЦ.

Хотелось бы отметить, что научно-технические достижения в пожарной робототехнике нашли широкую поддержку — как у специалистов пожарного дела, так и во многих отраслях промышленности, на защите которых стоят пожарные роботы. В 2020 году — в год столетия роботов — ведущие специалисты «Инженерного центра пожарной робототехники «ЭФЭР» Ю.И. Горбань, В.Д. Мусийчук, С.Е. Сокольников стали лауреатами премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники».

© **Ю.И. Горбань,**

председатель Совета директоров

ООО «Инженерный центр пожарной робототехники «ЭФЭР», академик НАНПБ

© **С.Г. Немчинов,**

генеральный директор

ООО «Инженерный центр пожарной робототехники «ЭФЭР»