

ВВЕДЕНИЕ

Освоение арктического региона, обусловленное как экономическими интересами (разработка ресурсов, использование Северного морского пути), так и стратегическими целями государств [1], сопряжено с уникальными рисками, среди которых пожар на борту корабля (судна) – один из наиболее критических. Удаленность от сил спасения, экстремальные погодные условия (температуры до -50°C , обледенение, штормы) и высокая концентрация легковоспламеняющихся материалов (топливо, смазочные масла) создают ситуацию, где стандартные методы пожаротушения зачастую неэффективны.

Анализ проблемы пожаротушения в Арктике показал [2–4], что тушение пожаров в условиях Крайнего Севера имеет ряд фундаментальных сложностей, которые активно изучает научное сообщество:

- энергонасыщенность объектов: модули арктических объектов, включая корабельные (судовые), характеризуются повышенным отношением потребляемой мощности к объему, что ведет к повышенному риску возникновения пожаров [4];
- климатические условия: экстремально низкие температуры осложняют использование воды и оборудования для ее подачи, что требует применения низкотемпературных огнетушащих составов и специального морозостойкого оборудования;
- ограниченность ресурсов: невозможность оперативной помощи извне и ограниченность людских ресурсов на удаленных объектах диктуют необходимость в автономных мобильных комплексах, способных перемещаться от объекта к объекту и не требующих доработок собственных систем.

Используемые в настоящее время на кораблях (судах) Арктической зоны системы пожаротушения также не лишены недостатков, а именно:

- системы тонкораспыленной воды (ТРВ), создающие капли размером 100–200 мкм, эффективны для локального тушения, но это сложное оборудование, применение которого в условиях низких температур ограничено в связи с возможностью обледенения;
- аэрозольные системы компактны, но имеют ограниченную продолжительность действия и требуют точного позиционирования;
- стандартные системы водяного пожаротушения обладают недостаточной эффективностью при низких температурах, способствуют обледенению конструкций, имеют высокий расход воды и значительные

МОБИЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ И БОРЬБЫ С ОБЛЕДЕНЕНИЕМ НА КОРАБЛЯХ И СУДАХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

М. Г. Войтович, канд. техн. наук, инженер-конструктор 1-й категории,
АО «ЦМКБ «Алмаз»,
контакт. тел. (812)373 2800

проливы, наносящие вред имуществу;

- пенные системы также чувствительны к температуре и требуют значительных запасов пенообразователя;
- газовые системы эффективны в закрытых помещениях, но требуют герметизации отсеков, опасны для экипажа.

Приведенный анализ показывает, что существующие системы не в полной мере отвечают требованиям мобильности, автономности, безопасности и эффективности в арктических условиях.

Одним из перспективных научно обоснованных методов пожаротушения является использование температурно-активированной воды (ТАВ). Особенность применения данного способа заключается в образовании в результате мгновенного перехода недогретой до температуры насыщения воды (когда начинается процесс парообразования) в область метастабильного состояния и последующего ее взрывного вскипания с образованием мелкодисперсного пара, способного проникать в труднодоступные места, и микрокапель воды с повышенной смачивающей способностью, обладающих повышенными огнетушащими свойствами.

Как показали исследования, описанные в [5], данный способ нашел применение в системах МЧС, в том числе в ус-

ловиях экстремальных климатических условиях, и представляет значительный интерес для адаптации в составе комплексов корабельного и судового назначения.

Предлагаемое решение – создание мобильного комплекса, представляющего собой систему оборудования, которая устанавливается в мобильном теплоизолированном обогреваемом контейнере морского исполнения, для получения ТАВ путем нагрева ее под давлением 10,0 МПа до температуры 220–250 $^{\circ}\text{C}$ и последующего взрывного вскипания при резком снижении давления до атмосферного. Схема устройства приведена на рис. 1.

Оборудование размещается в контейнере морского исполнения с усиленной термоизоляцией, оборудованного системой обогрева и вентиляции, что обеспечивает автономное его функционирование даже в условиях отказа корабельной системы подачи пресной воды и возможность быстрого развертывания на любом корабле (судне) либо на береговом объекте.

Принцип работы комплекса (см. рис. 1):

1. Вода из подогреваемой цистерны 1 подается бустерным насосом 2 для создания начального напора 0,3–0,6 МПа на входе плунжерного насоса высокого давления 3, который в свою очередь создает давление не менее 10,0 МПа.

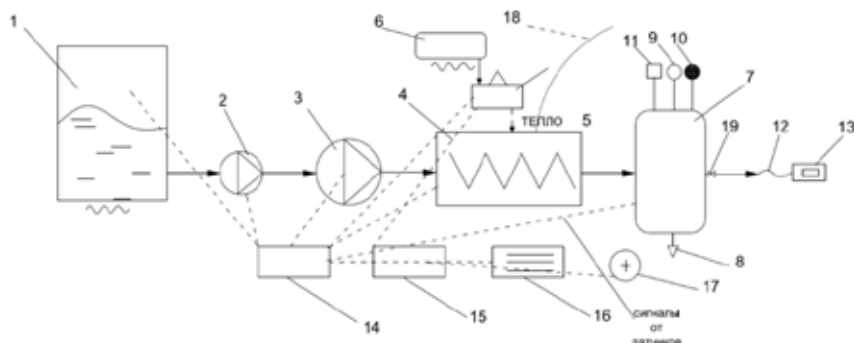


Рис. 1. Схема мобильного комплекса контейнерного исполнения для получения ТАВ

1 – цистерна пресной воды, 2 – бустерный насос, 3 – основной насос высокого давления, 4 – проточный теплообменник, 5 – автоматическая дизельная горелка, 6 – топливный бак с фильтром, 7 – коллектор-стабилизатор, 8 – предохранительный клапан, 9 – манометр, 10 – датчик температуры, 11 – датчик давления, 12 – рукав высокого давления, 13 – ствол-распылитель, 14 – программируемый логический контроллер, 15 – панель управления, 16 – электропитание, 17 – вентиляция, 18 – выхлопной патрубок, 19 – запорный клапан

2. В проточном теплообменнике 4 происходит нагрев воды до температуры 200–250 °С за счет тепла, выделяемого при сжигании дизельного топлива в автоматической горелке 5, при этом нагрев осуществляется под давлением, исключая фазовый переход воды в пар.

3. Продукты сгорания от горелки 5 отводятся через выхлопной патрубок 18.

4. После нагрева вода направляется в коллектор-стабилизатор 7, на котором установлены предохранительный клапан 8, манометр 9, датчик температуры 10 и датчик давления 11, для гашения пульсаций давления.

5. Недогретая до температуры насыщения вода под давлением 10,0 МПа подается через независимые выходы, оснащенные запорными клапанами по рукавам высокого давления 12 к стволам-распылителям 13, где она за время порядка $10^{-4} \div 10^{-9}$ с переходит в метастабильное состояние. В результате последующего взрывного вскипания образуются струи ТАВ, которые по своим свойствам близки к теплому туману и облакам.

6. Сигналы от датчиков температуры 10 и давления 11 на коллекторе-стабилизаторе 7 поступают в программируемый логический контроллер (ПЛК) 14, который при отклонении заданных значений корректирует работу исполнительных устройств – горелки, бустерного и плунжерного насосов.

Создание данного комплекса потребовало разработки технических решений, которые обеспечивают стабильную работу в экстремальных условиях. Особого внимания заслуживает решение проблемы морской качки – для обеспечения бескавитационной работы плунжерного насоса высокого давления предложен специальный бустерный насос, обеспечивающий подпорное давление воды на входе плунжерного насоса. Бустерный насос создает стабильный, непрерывный и ламинарный поток воды на входе плунжерного насоса высокого давления даже в условиях колебаний уровня воды в цистерне, а также преодоление гидравлического сопротивления на всех элементах системы перед основным насосом. Важнейшим элементом обеспечения стабильной работы системы также является коллектор-стабилизатор, гасящий пульсации давления и выравнивающий температуру потока воды, а также распределяющий воду в рукава высокого давления. Адаптация к экстремальному воздействию низких температур происходит за счет подогрева устройств и теплоизоляции контейнера.

Ключевым элементом предлагаемого комплекса является система управления, осуществляющая контроль параметров с помощью датчиков для контроля уровня воды, температуры 10,

давления 11, пламени и утечки топлива. Сигналы с указанных датчиков передаются в (ПЛК) 14, который управляет работой бустерного насоса 2, плунжерного насоса высокого давления 3 и автоматической дизельной горелки 5.

Результатом работы комплекса является получение ТАВ с температурой 180–250 °С, давлением 10,0 МПа и размером капель до 100 мкм. Огнетушащее действие ТАВ обусловлено следующими механизмами:

- интенсивным охлаждением за счет испарения микрокапель;
- осаждением дыма и паров продуктов горения;
- вытеснением кислорода из зоны горения водяным паром;
- ингибированием горения за счет активного взаимодействия модифицированных молекул воды с продуктами горения и образованием инертных соединений, препятствующих дальнейшему развитию пожара;
- быстрому проникновению в объем за счет капель малого размера.

Благодаря указанным свойствам, применение ТАВ позволяет сократить время тушения пожаров на 60–70%, уменьшить расход воды на 50–60% и увеличить площадь охвата в 3–4 раза по сравнению с применением систем водяного пожаротушения.

Кроме того, ТАВ может быть использована для борьбы с обледенением наружных конструкций кораблей (судов). Задача борьбы с обледенением с применением предлагаемого способа сводится к отделению снежно-ледяной массы от корабельных конструкций струями ТАВ и путем ее подачи для предотвращения повторного примерзания. Данный эффект достигается за счет способности не замерзать при температурах до –40 °С продолжительное время (один час и более) струя ТАВ прошивает снежно-ледяной массив и создает внутри обледенения полость, в которой идет интенсивное образование облака парокapельной смеси. При этом сам снежно-ледяной массив изолирует облако ТАВ от внешней среды, и вся подаваемая тепловая энергия разрушает обледенение. В результате наступает момент, когда давление, температура и фликкер-шум после взрывного вскипания воды приводят к разрушениям внутри обледенения, которые разрывают снежно-ледяной массив. Принципиально важным оказывается эффект разрушения снежно-ледяных масс на мелкие фрагменты, что обеспечивает сохранность конструкций при падении льда. Использование технологии удаления ледовых образований ТАВ позволяет избежать повторного обледенения, так как скорость разрушения снежно-ледяных масс превышает скорость их нарастания.

Также данный способ может использоваться для очистки от углеродных загрязнений, локализации путем связывания и осаждения выбросов боевых отравляющих и химически опасных веществ, ликвидации их разлива при авариях, с расходами реагентов и составами, которые в десятки раз меньше, чем при использовании технологии в условиях низких температур, что способствует повышению взрыво- и пожаробезопасности кораблей (судов).

Таким образом, интеграция перечисленных решений позволяет создать мобильный комплекс, способный эффективно работать в экстремальных условиях Арктической зоны и обеспечивать надежную противопожарную защиту и безопасность кораблей (судов).

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрены уникальные технические решения, реализованные в мобильном комплексе получения ТАВ для борьбы с пожарами на судах и кораблях в Арктической зоне. Особое внимание уделено системам, обеспечивающим автономность, стабильную работу в условиях качки, надежность комплекса и высокое качество ТАВ.

2. Разработка и внедрение мобильного комплекса пожаротушения представляется стратегически важным шагом для обеспечения безопасности арктического судоходства. Данная технология не только значительно повышает шансы на успешную локализацию и ликвидацию пожара на ранней стадии, но и позволяет применять ее для борьбы с обледенениями и углеродными загрязнениями на кораблях (судах) в экстремальных климатических условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года. Утв. Указом Президента Российской Федерации от 26 октября 2020 г. № 645.
2. Руднев Е. В. О проблемах пожаротушения в морских портах и на судах в условиях низких температур // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные риски). – 2017. – № 1. – С. 43–52. ISSN 2307–7476
3. Миронычев А. В., Потеряев Ю. К. Противопожарная защита арктических нефтегазовых платформ // Neftegaz.ru. – 2021. – № 6. – С. 42–48.
4. Таранцев А. А., Лосев М. А. Арктика. Пожары. Транспорт: Монография. – СПб.: ИПТ РАН, СПбГУ ГПС МЧС России, 2021. – 164 с. – ISBN 978–5–907116–54–2
5. Роевко В. В. Стратегия использования энергоэффективных многоцелевых мобильных модулей для обеспечения безопасности нефтегазовых комплексов в Арктике // Neftegaz.ru. – 2017. – № 11 (71), С. 80–87. ■