

**ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫЕ ЭКОЛОГИЧНЫЕ СРЕДСТВА ПОЖАРОТУШЕНИЯ РУДНИЧНЫХ ЭНДОГЕННЫХ ПОЖАРОВ**

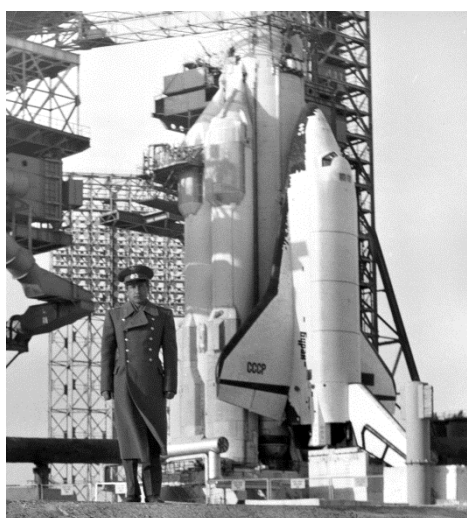
**А.Л. Гусев**

Научно-технический центр «ТАТА» (ООО НТЦ «ТАТА»)  
Россия, г. Саров, ул. Московская, дом 29, оф. 306  
т.р. +7-9047884477, e-mail: [gusev@hydrogen.ru](mailto:gusev@hydrogen.ru)

**HIGHLY EFFECTIVE ECO-FRIENDLY FIRE EXTINGUISHING MEANS MINE ENDOGENOUS FIRES**

**A.L. Gusev**

Scientific-Technical Center "TATA" (STC "TATA")  
Russia, Sarov, street Moscow, house 29, of. 306  
T.mob: 7-9047884477, e-mail: [gusev@hydrogen.ru](mailto:gusev@hydrogen.ru)



Автор работы (военный инженер-испытатель управления космического центра 3 ЦИП КС Гусев А.Л.) совместно с военными инженерами-испытателями управления космического центра 3 ЦИП КС Калачевым О.В. и Кукушкиным А.П. впервые в мировой практике осуществили тушение крупного техногенного пожара в замкнутом пространстве крупного 8 километрового кабельного канала с 200-ми восьмикилометровыми кабелями «без права муфтования» путем газификации криогенного азота.

Правительственная комиссия под руководством генерала Байбакова и курируемый ею расчет из 300 человек, полностью экипированный пожарными машинами в том числе и машинами «Ураган», пожарными танками, большим запасом фреона (было применено более 300 бочек фреона) с задачей по тушению пожара штатными средствами, к сожалению, в предшествующие дни справиться не смогла. Поэтому руководитель Центра (3 ЦИП КС) запросил у инженеров-испытателей предложения по

тушению пожара. Было принято предложение творческой группы инженеров-испытателей: О.В. Калачев, А.Л. Гусев, А.П. Кукушкин.

Было газифицировано 7 тонн криогенного азота, т.е. применено 5 млн. 600 тыс. литров газифицированного холодного азота. Пожар был успешно прекращен не более чем за час. В тушении пожара участвовало 3 человека (военные инженеры: Гусев А.Л. и Кукушкин А.П. и водитель криогенного заправщика).

Данный опыт применения криогенного пожаротушения стал отправной точкой по созданию в РФ криогенных систем пожаротушения. Способ пожаротушения был успешно повторен спустя месяц в кабельном канале.

**Сведения об авторе:** военный инженер-испытатель космической техники. С 1983 по 1988 гг. занимался испытаниями новейших образцов космической техники («Салют», «Мир», «Союзы», «Прогресс», «Венера», «Буран», «Квант», «Спектр» и др., обычные скафандры и скафандры для выхода в открытый космос «Орлан-Д» и др.). С 1983 по 1988 гг. участвовал в качестве руководителя боевых расчетов по испытанию космических аппаратов всех типов (для космодромов «Байконур» и «Плесецк») и скафандров космонавтов в барокамерах СМ-257 и СМ-702 на интегральную и локальную негерметичность.

С 1988 по 1995 гг. выполнял обязанности руководителя работ по подготовке криогенно-вакуумных систем хранения и заправки водородом, кислородом и азотом многоразовой транспортной космической системы «Энергия» к запуску РКК «Энергия-Полус» и «Энергия-Буран» участвовал при запусках этих систем и «горячих прожигах» двигателей РКК «Энергия» на универсальном космическом стартовом стенде (УКСС).

**Образование:** Военный инженерный Краснознаменный институт им. А. Ф. Можайского (ВИКИ им. А. Ф. Можайского, 1978-1983 гг.) – руководитель дипломного проекта к.т.н. Черняк Н.В., аспирантура ВНИИ «Криогенной техники» ХИМНЕФТЕМАША СССР по криогенно-вакуумной тематике с отличием (1989 – 1994 гг) научный руководитель аспирантуры – нач. отд.105 НПО «Криогенмаш» к.т.н. Куприянов В.И.).

**Область научно-технических интересов:** космические аппараты (КА), ракетносители (РН), топливо для космических аппаратов и ракетносителей, системы термостатирования КА и РН, космические заправочные комплексы, космические энергетические установки, нестационарный тепло-массообмен.

эксперт РОСНАНО, ФЦНТП, других научных фондов, рецензент известных международных журналов.

**Публикации:** автор 1 монографии, более 300 научных работ и более 50 патентов, большинство из которых внедрены, научный редактор более 300 номеров международных научных журналов.

## АННОТАЦИЯ

Предложена *Концепция пожаротушения эндогенных суперпожаров* с использованием альтернативных источников энергии (АИЭ); больших объемов криогенного жидкого азота (АДС - автономные азотодобывающие станции), получаемых за счет использования АИЭ и газообразного азота (МТ - мембранная технология); инъекции в газифицированный азотный поток суспензии бинарного льда (*Binary Ice*) (вода и соли веществ, повышающие емкость фазового перехода и одновременно закупоривающих транспортные каналы окислительной среды: трещины, микротрещины, поры) в районе очага горения, с использованием низкоуглеродистых замороженных продуктов термолитиза отходов, обладающих высокой теплоемкостью и высокой кинематической вязкостью также для пломбировки кислородных транспортных трещин); с использованием высокоточной методики определения контуров и координат очага пожара на основе мониторинга основных идентифицируемых параметров; специальной мобильной и автономной надежной аппаратурой газового анализа; аппаратуры измерения влажности и температуры для постоянной их регистрации и коррекции технологии и рецептуры подаваемой среды, состоящей из холодной инертной, флегматизирующей, пломбирующей кислородные транспортные каналы субстанции; с использованием подземных самодвижущихся систем («Подземный дрон») для прокладки гибких криогенных трубопроводов с износостойким внутренним покрытием; с использованием систем доставки и установки сенсоров газоаналитической аппаратуры к наиболее вероятным подземным пограничным областям очага пожара с целью постоянного контроля габаритов и геометрии очага горения; робототизированного координатного бурения и прокладки трассы трубопроводов для прокачивания суспензии бинарного льда к природному теплоаккумулятору очага пожара для снижения температуры очага горения.

В «Столетнем меморандуме» от 13 ноября 2006 года Главам Большой Восьмерки автор статьи совместно с известными учеными нескольких стран мира обратился с призывом развивать альтернативную энергетику для сохранения экологии.

Одной из наиболее распространенных экологических проблем 21 века на угольных разрезах, шахтных выработках и хвостохранилищах являются эндогенные суперпожары, которые возникают в результате самовозгорания подземных пород и горючих материалов на огромных территориях со значительными поверхностями доступа, объемами горючего материала и поступающего воздуха и, как следствие, значительным образованием тепла. Эти пожары не только сильно влияют на глобальные изменение климата Земли, но также способны распылять токсичные и радиоактивные вещества хвостохранилищ, которые обустроены в отработанных шахтах.

В результатах многолетнего исследования представлена новая локально апробированная концепция и инфраструктура тушения эндогенных суперпожаров на основе инертной газовой среды с включениями суспензии хладагента - жидкости с частицами бинарного льда, обладающего высокой удельной теплоемкостью и способностью максимального отвода тепла от очага пожара и поверхности теплоаккумулирующего каркаса пород в зоне очага пожара, а также чрезвычайно высоким коэффициентом поверхностного натяжения расплавленного пломбировочного раствора, обеспечивающего закупоривание капилляров и трещин в структуре трещиновато-пористого тела купола очага пожара, тем самым существенно снижая поступление окислительной среды к поверхности горения, при этом холодный инертный азот эффективно вытесняет окислительную среду, локализует очаг горения и флегматизирует поверхность горения «азотной завесой».

В статье рассматриваются высокоэффективные экологичные средства пожаротушения для рудничных эндогенных пожаров, основанные на применении передвижных инновационных альтернативных источников энергии, концентраторов энергии, воздуходелительных установок, газгольдеров комприммированного азота, оживителей азота, газификаторов, криогенных разборных трубопроводов, запорной арматуры, сенсорной техники и систем управления. Наиболее характерны пожары для месторождений бурых углей. Причина таких пожаров носит природный характер - бурый уголь имеет свойство самовозгораться на открытом воздухе.

Подземные пожары могут гореть длительные периоды времени от месяцев до нескольких тысяч лет (Фанские горы, Таджикистан), пока не истощится пласт. Они могут распространяться на значительные площади по шахтным выработкам и трещинам в массиве горных пород, а также в хвостохранилищах. После выработки полезных ископаемых промышленным способом эндогенный пожар может возникнуть в отработанных участках шахт и рудников. Серьезную проблему представляют рудничные эндогенные пожары на Коркинском разрезе (Россия) и на Сибайском карьере (Россия).

Имеется несколько успешных примеров борьбы с подземными пожарами, так например в 2004 году удалось потушить пожар в угольной шахте Люхуангоу (вблизи Урумчи, Синьцзян, Китай) – горел с 1874 года. Поскольку пожары подземные, их чрезвычайно трудно потушить, что, не в последнюю очередь,

связано с трудностью либо невозможностью доступа к очагу горения. Подземные пожары также очень сложно обнаружить. Подземные суперпожары требуют колоссального объема автономных энергоресурсов, экологически чистых флегматизирующих, ингибирующих, охлаждающих и кислородвытесняющих веществ, а также точного определения компонентов реагирующих веществ и геометрии ядра подземного пожара, полного и точного представления физико-химической картины эндогенного пожара.

Для тушения эндогенного суперпожара, т.е. достижения целевой функции тушения пожара –  $P_{var[0-1]}(t)$  значения равного 1, где  $t$  – время процесса тушения пожара, достаточно убрать или существенно снизить влияние одного из действующих факторов: а)  $F_{var[0-1]}(t)$  – функция степени взаимодействия поверхности доступа с окислительной средой воздуха и  $V_{var[0-1]}(t)$  – функция степени прекращения реализации окислительных реакций в объеме горючего материала прекращены; б)  $W_{var[0-1]}(t)$  – функция прекращения поступления воздушного потока, при достижении значения 1 поступление воздуха через пористую матрицу к эпицентру пожара прекращено; в)  $Q_{var[0-1]}(t)$  – функция прекращения генерации теплового потока, при достижении значения 1 генерация теплового потока в объеме пожара прекращена.

В статье предложены инновационные средства газового контроля подземного эндогенного суперпожара по определению картины распределения влажности, картины распределения температур, карты концентраций  $O_2$ ,  $CO$ ,  $H_2$  а также методика определения эпицентра пожара и контуров его ядра. Результаты замеров температуры наносят на вертикальный разрез участка, соединив точки с одинаковой температурой, определяют эпицентр пожара. Наиболее надежным и точным методом своевременного обнаружения рудничных пожаров является систематический контроль за изменением локальной влажности, химическим составом рудничного воздуха и воды в сочетании с замерами температуры в выработках. В связи с тем что при эндогенных суперпожарах поверхности доступа и объем горючего материалы чрезвычайно велики, поступление воздуха и образование избыточного тепла, как правило, значительны, то большое количество охлаждающих, флегматизирующих, вытесняющих воздух веществ также значительно. При этом существующая инфраструктура генерации пожаротушащих, охлаждающих и флегматизирующих веществ рассредоточена на большой территории и ее концентрация не достаточна для тушения суперпожара эндогенной этимологии. На основе имеющегося положительного инновационного опыта по тушению крупного техногенного пожара в крупном кабельном канале предложены высокоэффективные средства пожаротушения на основе газифицирующегося (в 800 раз по объему) криогенного азота, поступающего к очагу горения под заданным давлением. Предложен состав раствора для производства суспензии бинарного льда, обладающего одновременно тремя целевыми функциями: высокая теплота фазового перехода бинарного льда, оптимальная рабочая температура, высокий коэффициент поверхностного натяжения, высокий коэффициент кинематической и динамической вязкости. Предложены разработанные автором концепции криогенных пожарных транспортных средств для эксплуатации в карьерных разрезах и хвостохранилищах в условиях отсутствия кислорода и наличия большого количества воды. Пожаротушение азотом имеет ряд преимуществ. Если тушить пожар в шахте водой, то она придет в негодность на десятки лет. Высокая температура в ядре пожара может разлагать воду на кислород и водород с образованием гремучей смеси и взрыва. Пожаротушение азотом – объемное. При таком способе тушения азот проникает во все уголки, распространяясь по всему разрезу или шахте. Азот для тушения пожаров можно генерировать прямо на месте. Также, для того, чтобы обеспечить незамедлительную реакцию во время возгорания можно использовать ресиверы системы пожаротушения. В ресиверах поддерживается определенное количество азота, нужного для пожаротушения. Впервые предложено производить большое количество криогенного азота непосредственно в районе тушения пожара с использованием автономных мобильных высокопроизводительных и экологически чистых энергосредств альтернативной энергетики (ветряная энергогенерирующая башня, передвижные ветрогенераторы, автономные солнечные электростанции т.д.). Предложено использование разделителей воздуха с выделением целевого продукта – азота на основе мембран (молекулярных сит), вихревых устройств. Получение больших количеств газообразного азота в районе экокатастрофы необходимо для вытеснения воздуха. Кроме того, получение больших количеств газообразного азота необходимо для его использования в качестве сырья для целевого продукта криогенного азота в процессе ожижения. Это снижает эксергетические затраты на получение криожидкости азота. Таким образом, в работе рассматривается как применение газифицирующейся криожидкости, так и компримированного полученного мембранным способом газообразного азота. В результате выполнения работы предложена эффективная апробированная крупномасштабная технология азотного пожаротушения (*криожидкость + газифицирующийся азот + газообразный азот*). Предложены экологически чистые комплексы генерации значительного количества энергии и криожидкости азота для их потребления на месте тушения пожара на основе использования альтернативных источников энергии, размещенных в зоне суперпожара эндогенной этимологии. Автором также предложены концептуальные схемы пожарных криотранспортных средств различного класса (легковые автомобили, грузовые автомобили, локомотивы) для применения их в хвостохранилищах в условиях эндогенных суперпожаров и на запретных близлежащих территориях и средств перевозки крупных количеств азота к месту пожара (дирижабли, танкеры). В работе выполнен анализ существующих средств пожаротушения, применяемых при тушении эндогенных суперпожаров по патентным и библиографическим источникам.

Главное в работе - идея по использованию альтернативных источников энергии на месте тушения для получения криоазота; генерация бинарного льда с использованием АИЭ и в процессах рекуперационной газификации криожидкости, энергообеспечения объекта пожаротушения: газификация азота с эжекцией (подсосом) холодной суспензии бинарного льда (*Binary Ice*) (теплоемкость бинарного льда, примерно в 100 раз больше чем у жидкости, что снижает потребности закачиваемых хладагентов и уменьшает потребный условный диаметр трубопроводов подачи хладагентов для снижения температуры теплоаккумулирующих объемов очага пожара), строгая система мониторинга ядра пожара с использованием подземных индикаторов: датчиков температуры, датчиков концентрации кислорода, СО, водорода и наземных индикаторов влажности и задымленности. Кроме того, важным являются средства доставки криоазота, а также безопасный транспорт для работы в зоне отчуждения и в хвостохранилищах.

Работа по тушению больших пожаров, которые горят несколько столетий или тысячелетий потребует особого подхода, один из вариантов которого мы здесь и представляем. Он связан с созданием инфраструктуры тушения эндогенных суперпожаров на основе альтернативных источников энергии, рассчитанной на много лет непрерывной работы. После того, как данная технология и инфраструктура будут созданы и апробированы они могут быть очень востребованы в странах, которые не могут десятилетиями справиться с эндогенными пожарами. Таким образом, новая Концепция, инфраструктура (устройства и технологии) могут быть прообразом экологически чистой, экономически оправданной, быстровозводимой, рентабельной системы пожаротушения эндогенных суперпожаров.

*Автор работы выражает искреннюю благодарность организаторам КОНКУРСА НАУЧНЫХ И ДИПЛОМНЫХ РАБОТ "ТЕХНОЛОГИЯ ТУШЕНИЯ ЭНДОГЕННЫХ ПОЖАРОВ" (Редакцией «Научный корреспондент»). Конкурс в большой мере способствовал переосмыслению, систематизации выполненных научных исследований в ходе которых была сформирована текущая версия Концепции тушения эндогенных пожаров с использованием: генераторов холода, генераторов криогенного азота на АИЭ, газифицированного и комприммированного газообразного азота, технологической инфраструктуры, функционирующей на альтернативных источниках энергии; использовании новейших технологий определения геометрии, координат ядра пожара на основе газоаналитической аппаратуры и систем ее автоматической подземной доставки; новейших технологий эжектирования бинарного льда в зону самонагрева и самоаккумулирования тепла пожара; новейших технологий пломбирования каналов проникновения кислородсодержащей среды: микротрещин и пористого скелета пломбировочными растворами солей, входящими в состав бинарного льда; новейшими технологиями флегматизации очага горения.*

Научная новизна. Впервые предложена технология, позволяющая использовать физическую и химическую эксергию окружающей среды для генерации охлаждающих и флегматизирующих пожаротушающих веществ, электрической энергии, унитарного криотоплива для пожарных дронов, осуществления новейших технологий пожаротушения. Впервые предложены новые устройства и комплексы пожаротушения на их основе.

Экономический эффект. Новый хладагент на основе бинарного льда из раствора солей и веществ пломбирующих каналы подвода окислительной среды, а также технологии подвода хладагента для снижения температуры природного аккумулятора тепла очага горения обеспечивают снижение времени охлаждения теплоаккумулирующих пород очага возгорания, снижение потребных количеств хладагента за счет применения бинарного льда (в 70-100 раз), уменьшение на порядок потребного условного диаметра прокачиваемых трубопроводов для подачи суспензии хладагента, снижение потребной мощности систем прокачки хладагента на порядок.

Результатом реализации инициативного проекта может быть государственная или коммерческая система пожаротушения эндогенных суперпожаров (СПНЭС), данная система будет очень востребована в энергетической и экологической дипломатии.

**Ключевые слова:** *эндогенные пожары, бинарный лед, криогенный азот, криожидкость, очаг горения, координаты очага горения, геометрия ядра пожара, горючий материал, вытеснение воздуха, кислородсодержащая среда, способы тушения, газифицирующийся азот, азотные мембраны, флегматизирующие вещества, хвостохранилища, криогенная азотная пожарная техника, альтернативные источники энергии, природный аккумулятор тепла очага горения, рекуперационная газификация, Концепция пожаротушения эндогенных суперпожаров, криогенный резервуар, подземный дрон, криодроны.*

## ВВЕДЕНИЕ

Предложена Концепция пожаротушения эндогенных суперпожаров на основе использования альтернативных источников энергии (АИЭ); больших объемов криогенного жидкого азота (АДС - автономные азотодобывающие станции), генерируемых на месте пожара за счет использования АИЭ и

газообразного азота (МТ - мембранная технология); инъекции в газифицированный азотный поток суспензии бинарного льда (*Binary Ice*) - БЛ (вода и соли веществ, повышающие емкость фазового перехода и одновременно закупоривающих скелет кислородподающих трещин, микротрещин, пор в районе очага горения, с использованием низкоуглеродистых замороженных продуктов термолитизации отходов, обладающих высокой теплоемкостью и высокой кинематической вязкостью - пломбировка кислородных транспортных трещин); с использованием высокоточной методики определения контуров и координат очага пожара на основе мониторинга основных идентифицируемых параметров; специальной мобильной и автономной надежной аппаратурой газового анализа; влажности; температуры для постоянной их регистрации и коррекции технологии и рецептуры подаваемой среды, состоящей из холодной инертной, флегматизирующей, пломбирующей кислородные транспортные каналы субстанции; с использованием подземных самодвижущихся систем («Подземные дроны») для прокладки гибких криогенных трубопроводов с износостойким внутренним покрытием; с использованием систем доставки и установки сенсоров газоаналитической аппаратуры к наиболее вероятным подземным пограничным областям очага пожара с целью постоянного контроля габаритов и формы очага горения.

В «Столетнем меморандуме» от 13 ноября 2006 года Главам Большой Восьмерки автор статьи совместно с учеными нескольких стран мира обратился с призывом развивать альтернативную энергетику для сохранения экологии [1].

Специфические (локальные) экологические проблемы имеются во всех регионах страны [2]. Методы их решения обычно строго индивидуальны.

Одной из наиболее распространенных экологических проблем 21 века на угольных разрезах и хвостохранилищах являются эндогенные суперпожары, которые возникают в результате самовозгорания подземных пород и горючих материалов на огромных территориях со значительными поверхностями доступа, объемами горючего материала и поступающего воздуха и, как следствие, значительным образованием тепла. В настоящее время мире зафиксировано около 7 000 000 эндогенных пожаров, которые оказывают существенное влияние на экологию планеты. Из них, по крайней мере 10 самых крупных подземных эндогенных пожаров, которые существующими способами невозможно потушить мы предложили отнести к эндогенным суперпожарам. Термин вводится нами впервые. В таблице №1 представлены некоторые из известных эндогенных пожаров.

**Таблица – 1. Примеры эндогенных суперпожаров, их история и прогнозы**

Номер по порядку	Наименование пожара	Географическое расположение	Начало горения	Предполагаемый генезис и распространение пожара	Прогнозы	Источник
1	«Горящая Гора» (гора Винджен)	Расположен у деревни Винджен (Wingen), Новый Южный Уэльс (New South Wales), Австралия	Начало пожара – минимум 6000 лет.	Пожар был, скорее всего, вызван ударом молнии или спонтанным взрывом. Каждый год пламя движется на юг со скоростью около 1 метра. Пожар уже преодолел 6 километров с момента изначального возгорания.	По оценкам учёных, «Горящая гора» в Австралии — самое старое из известных горящих месторождений угля: пожар там продолжается около 6000 лет. При таких темпах, огонь дойдёт до Сиднея, Австралия, расположенного на расстоянии порядка 280 километров, в следующие 255 000 лет.	<a href="https://bugaga.ru/pictures/geo/1146740072-10-prirodnih-vechnyh-ogney-o-kotoryh-vy-mogli-ne-znat.html">https://bugaga.ru/pictures/geo/1146740072-10-prirodnih-vechnyh-ogney-o-kotoryh-vy-mogli-ne-znat.html</a>
2	Дымящиеся Холмы (Smoking Hills), первооткрыватель Франклин – Франклина (Franklin Expedition), открыт в 1826 году			Неизвестно	Массовые пожары на скалистых берегах и вершинах мыса Батерст (Cape Bathurst) имеют эндогенную этимологию.	<a href="https://bugaga.ru/pictures/geo/1146740072-10-prirodnih-vechnyh-ogney-o-kotoryh-vy-mogli-ne-znat.html">https://bugaga.ru/pictures/geo/1146740072-10-prirodnih-vechnyh-ogney-o-kotoryh-vy-mogli-ne-znat.html</a>
3	Пещера	Рядом с храмом		Примерно, 300		<a href="https://bugaga.ru/pictures/geo/1146740072-10-prirodnih-vechnyh-ogney-o-kotoryh-vy-mogli-ne-znat.html">https://bugaga.ru/pictures/geo/1146740072-10-prirodnih-vechnyh-ogney-o-kotoryh-vy-mogli-ne-znat.html</a>

	Воды и Пламени (Water And Fire Cave), открыта в 1701 году.	Бион (Biyun Temple), Тайвань.		лет.		<a href="http://740072-10-prirodnih-vechnyh-ogney-o-kotoryh-vy-mogli-ne-znat.html">740072-10-prirodnih-vechnyh-ogney-o-kotoryh-vy-mogli-ne-znat.html</a>
4	Горящая гора, пожар зафиксировали в 1688 году.	Горящий угольный пласт на Горей, расположенной на территории Саара (Saarland), Германия,		231 год назад.	Легенда гласит, что пастух зажёг огонь возле пня, и он прошёл через корни пня и добрался до угольного пласта.	<a href="https://bugaga.ru/pictures/geo/1146/740072-10-prirodnih-vechnyh-ogney-o-kotoryh-vy-mogli-ne-znat.html">https://bugaga.ru/pictures/geo/1146/740072-10-prirodnih-vechnyh-ogney-o-kotoryh-vy-mogli-ne-znat.html</a>
5	Сибайский карьер	Сибайский карьер – второй по размеру в мире: два километра в диаметре.		В нем еще в 30-х годах XX века начали добывать медь, цинк и золото. В начале 2000-х из-за нерентабельности добычу полезных ископаемых практически прекратили: остались лишь несколько действующих подземных шахт, в которых продолжают добывать руду с помощью взрывчатки. Карьер принадлежит Уральской горно-металлургической компании.		Осенью 2018 года сера начала окисляться и тлеть, выделяя в атмосферу токсичные вещества, опасные как для окружающей среды, так и для здоровья и жизни людей. 12 декабря 2018 года руководство города признало проблему и заявило, что ведутся работы по преодолению тления. Для этого карьер начали заливать глиняно-земляной смесью. Но ситуация в городе не улучшилась. Глава Росприроднадзора Светлана Радионова пообещала в интервью ТАСС, что тление руды в карьере в городе Сибайе в Башкирии будет потушено к 28 марта 2019 года.
6	Коркинский разрез	Глубина разреза к моменту завершения добычи в ноябре 2017 года достигла 493 метров. Этот опасный производственный объект числится за Челябинской угольной компанией.		Уголь в Коркинском разрезе добывали с 30-х годов прошлого века. За прошедшее время он превратился в самую глубокую яму Евразии		Решение по ликвидации карьера есть — заполнение его закладочным материалом, который будут производить на обогатительной фабрике Томинского ГОКа. Но пока идет согласование проекта, борьбу с пожарами придется вести всеми доступными средствами — с привлечением МЧС. А финансирование этих работ взяла на себя компания «Промрекультивация».
7	Хвостохранилище близ озера Курочкино в поселке Старокамышинск Копейского городского округа, северо-восточнее СНТ "Шахтер р"	По данным пресс-службы администрации Копейска, на хвостохранилище выработанных угольных шахт, расположенных на озере Курочкино в поселке Старокамышинск Копейского городского округа, северо-восточнее СНТ "Шахтер", протекают эндогенные пожары.		Копейск — город-спутник Челябинска, население около 150 тыс. человек. Шахты, расположенные в городе, функционировали с 30-х годов прошлого века, сейчас не действуют		11 февраля 2019 года на территории Копейского городского округа введен режим функционирования — "Чрезвычайная ситуация". Тушение очагов пожара в зоне ЧС будет происходить путем укрытия несгораемым грунтом с последующей герметизацией участков слоем глины. Органы управления, силы и средства РСЧС Копейского муниципального звена переведены на круглосуточный режим работы", — говорится в сообщении. В пресс-службе Главного управления МЧС России по Челябинской области ТАСС сообщили, что ситуация находится под контролем.
8	Прокопьевско-Киселёвское месторождение	Наиболее пожароопасным среди месторождений				В пятидесятые годы прошлого века только на шахтах этого района ежегодно возникало до 43



ие (Кузбасс).	Кузбасса с давних пор считалось Прокопьевско- Киселёвское месторождение.			эндогенных пожаров в год.  <a href="https://dprom.online/unsolution/sa/movozgoranie-uglya-endogennyye-pozhary-legendy-goryashhih-gor/">https://dprom.online/unsolution/sa/movozgoranie-uglya-endogennyye-pozhary-legendy-goryashhih-gor/</a>
---------------	---	--	--	--

Эндогенный пожар возникает в результате самовозгорания подземных пород и горючих материалов. К самопроизвольному горению приводит совокупное действие следующих условий:

- избыточное образование тепла,
- поступление кислорода окружающей среды,
- достаточный объем горючего материала.

При окислении полезных подземных ископаемых кислородом повышается их температура и происходит самовозгорание. Химическая активность добываемой руды и геологические особенности их залежей являются природными факторами возникновения эндогенных пожаров. К горнотехническим факторам самовозгорания относятся условия ведения их добычи. После выработки полезных ископаемых промышленным способом эндогенный пожар может возникнуть в выработанных областях шахт. Самовозгорания наносят большой ущерб как жизням людей, так и материальному имуществу. Из-за обширности и глубины залегания горящих пластов подземный пожар сложно, а иногда просто невозможно ликвидировать.

Возгорания угольных пластов – естественный процесс, так как некоторые угли могут самовозгораться при температурах ниже 100°C при определённой влажности и размерах пластов. Лесные пожары (вызванные молнией или другие) могут поджигать уголь, залегающий вблизи от поверхности, и горение может распространяться через пласты. Доисторические обнажения шлака - результат древних пожаров угля, которые оставили каркас, сопротивляющийся эрозии лучше, чем сама матрица. По оценкам учёных, Плавающая гора (*Burning Mountain*) в Австралии является древнейшим из известных горящих месторождений - пожар там продолжается около 6 тыс. лет.

В мире существуют тысячи активных подземных пожаров, особенно в Китае и Индии. Современные слоевые горные разработки открывают тлеющие пласты угля воздуха, который возобновляет горение.

Среди сотен подземных пожаров в США наиболее известный находится в городе Централья (Рис.1а), который возник в 1962 году. Сегодня активны и другие подземные пожары в США, например в городе Вандербилт.



Рис.1а Подземный пожар в г. Централья штат Пенсильвания (США)  
[<https://www.nkj.ru/open/36194/>]



Рис.1 б Иницирование подземного пожара при добыче полезных ископаемых

Подземные пожары могут начинаться в результате аварии, обычно вызывая взрыв газа (Рис.1б).

Некоторые подземные пожары возникли, при уничтожении властями нелегальных горных разработок. Много шахтных пожаров начались по вине людей, сжигающих мусор поблизости от брошенных угольных шахт (как, например, это произошло в Центральи, США). Сельские жители Китая в угольных регионах часто добывают уголь для домашнего использования. Когда выработки истощаются они отказываются от выработок, бросая быстро воспламеняющуюся угольную пыль на открытом воздухе.

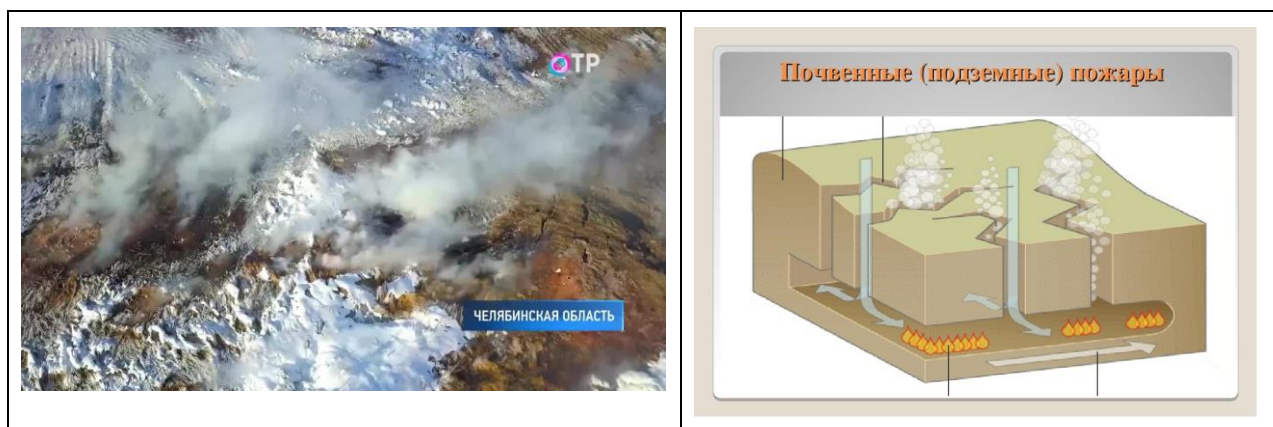


Рис.2 Подземные пожары

Имеется несколько успешных примеров борьбы с подземными пожарами: в 2004 году в Китае удалось потушить пожар в угольной шахте Люхуангоу, горение которого продолжалось с 1874 года. Угольные пожары Китая сжигают 20—30 миллионов тонн угля в год. Самые страшные из текущих пожаров находятся в каменноугольных бассейнах Уда во Внутренней Монголии. Серьезную проблему представляют рудничный эндогенный пожар на Коркинском разрезе (Россия) и пожар на Сибайском карьере (Россия).

В работе предложены средства газового контроля подземного эндогенного пожара по концентрации  $O_2$  и  $CO$ , а также методика определения эпицентра пожара и контуров его ядра по сопоставлению проб газового анализа в зоне предполагаемого эндогенного подземного пожара.

На основе имеющегося у автора положительного инновационного опыта по внедрению предложенного способа пожаротушения на основе газифицирующегося криогенного азота в сложной ситуации самовозгорания 200 кабелей в крупном кабельном 8-ми километровом канале космического стартового комплекса «Энергия-Бурна» [3, 4, 5] впервые в 1989 предложена и реализована концепция тушения крупных рудничных эндогенных суперпожаров с применением большого количества газифицирующегося азота, подаваемого в области, граничащие с контуром ядра пожара. При газификации криогенного жидкого азота объем газообразного азота превышает в 800 раз объем криожидкости. Таким образом, очень удобно транспортировать огромные количества инертного газа в виде криогенной жидкости, так как ее объем в 800 раз меньше объема занимаемого газом при нормальных условиях.

Предложены инновационные средства пожаротушения на основе газифицирующегося криогенного азота, поступающего к очагу горения под заданным давлением. Предложена автономная инфраструктура, обеспечивающая длительную эффективную деятельность средств пожаротушения на основе криоазота.

Кроме того, предложены разработанные автором концепции криогенных пожарных транспортных средства для эксплуатации в карьерных разрезах и хвостохранилищах, в том числе и в аварийных условиях при отсутствии кислорода и наличия больших количеств воды.

Впервые предложено производить большие количества криогенного азота непосредственно в районе тушения пожара с использованием мобильных высокопроизводительных средств альтернативной энергетики (ветряная энергогенерирующая башня, ветрогенераторы, солнечные генераторы и т.д.).

Предложено использование крупномасштабных мембран (молекулярных сит) и каскадных вихревых труб для получения больших количеств газообразного азота в качестве сырья для целевого продукта криогенного азота в процессе ожижения, что снижает затраты энергии на получение криожидкости азота и обеспечивает накопление газообразного компримированного азота в большеобъемных газгольдерах.

Главное в работе - идея по использованию альтернативных источников энергии на месте тушения, газификация азота с эжекцией (подсосом) холодной суспензии бинарного льда (теплоемкость бинарного льда, примерно в 100 раз больше чем у жидкости), строгая система мониторинга ядра пожара с использованием подземных индикаторов: датчиков температуры, датчиков концентрации кислорода,  $CO$ , водорода и наземных индикаторов влажности и задымленности. Кроме того, важным являются средства доставки криоазота, а также безопасные беспилотные криотранспортные робототизированные средства (криодроны) для работы в зоне отчуждения и в хвостохранилищах.

Работа по тушению больших пожаров, которые горят несколько столетий или тысячелетий потребует особого подхода, один из вариантов которого мы здесь и представляем. Он связан с созданием инфраструктуры тушения эндогенных суперпожаров, рассчитанной на много лет непрерывной работы. После того, как данная технология и инфраструктура будут созданы и апробированы они могут быть очень востребованы в странах, которые не могут десятилетиями справиться с эндогенными пожарами. Таким образом, новая Концепция, инфраструктура (устройства и технологии) могут быть прообразом экологически чистой, экономически оправданной, быстровозводимой, рентабельной системы пожаротушения эндогенных суперпожаров.



Научная новизна. Впервые предложена технология, позволяющая использовать физическую и химическую эксергию окружающей среды для генерации охлаждающих и флегматизирующих пожаротушающих веществ, электрической энергии, унитарного криотоплива для пожарных дронов, осуществления новейших технологий пожаротушения. Впервые предложены новые устройства и комплексы пожаротушения на их основе.

Экономический эффект. Новый хладагент на основе бинарного льда из раствора солей и веществ пломбирующих каналы подвода окислительной среды, а также технологии подвода хладагента для снижения температуры природного аккумулятора тепла очага горения обеспечивают снижение времени охлаждения теплоаккумулирующих пород очага возгорания, снижение потребных количеств хладагента за счет применения бинарного льда (в 70-100 раз), уменьшение на порядок потребного условного диаметра прокачивающих трубопроводов для подачи суспензии хладагента, снижение потребной мощности систем прокачки хладагента на порядок.

Результатом реализации инициативного проекта может быть государственная или коммерческая система пожаротушения эндогенных суперпожаров (СПНЭС), данная система будет очень востребована в энергетической и экологической дипломатии.

<b>Список обозначений</b>	
<u>Буквы греческого алфавита</u>	
$\varphi$	влажность воздуха, %
<u>Буквы латинского алфавита</u>	
$T$	Температура, °C
$t$	время процесса тушения пожара, часы
<u>Индексы нижние</u>	
$кр$	Критическая температура самовозгорания $t_{кр}$ , °C
$var$	варьируемый диапазон функции
$v$	воспламенение
<u>Аббревиатуры</u>	
АЭС	Атомная электростанция
ВЭС	Ветроэлектростанция
АИЭ	Альтернативные источники энергии
АДС	Азото-добывающие станции
МТ	Мембранная технология
ПП	Подземный пожар — неуправляемое горение, проходящее под землёй. Может сопровождаться существенными экономическими, социальными и экологическими последствиями.
СПНЭС	Система пожаротушения эндогенных суперпожаров
$CO$	химическая формула окиси углерода
$O_2$	химическая формула кислорода
$N_2$	химическая формула азота
$H_2$	химическая формула водорода
$SO_2$	химическая формула сернистого ангидрида
$P_{var[0-1]}(t)$	целевая функция тушения пожара
$t$	время процесса тушения пожара
$P(t)$	целевая функция тушения пожара
$F(t)$	функция степени взаимодействия поверхности доступа с окислительной средой воздуха
$V(t)$	функция степени прекращения реализации окислительных реакций в объеме горючего материала
$W(t)$	функция прекращения поступления воздушного потока
$Q(t)$	функция прекращения генерации теплового потока, при достижении значения
$F_{var[0-1]}(t)$	функция степени взаимодействия поверхности доступа с окислительной средой воздуха
$V_{var[0-1]}(t)$	функция степени прекращения реализации окислительных реакций в объеме горючего материала, при достижении значения 1 все окислительные реакции в объеме горючего материала прекращены
$W_{var[0-1]}(t)$	функция прекращения поступления воздушного потока, при достижении значения 1 поступление воздуха через пористую матрицу к эпицентру пожара прекращено
$Q_{var[0-1]}(t)$	функция прекращения генерации теплового потока, при достижении значения 1 генерация теплового потока в объеме пожара прекращена
$MnO_2$	химическая формула диоксида марганца
$Pd$	химическая формула палладия
$t_v, °C$	температура воспламенения
$t_{кр}, °C$	критическая температура самовозгорания
$N_p$	мощность пласта или рудного тела
$d_p$	дистанция размещения пластов

$\varphi_p$	угол залегания
$\Psi_p$	тектоническая неоднородность
$\alpha_p$	характер вмещающих пород
$L_p$	глубина залегания
$\Sigma_p$	химический состав пласта или рудного тела
Единицы измерения	
$^{\circ}C$	градус Цельсия

### 1. ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И ПРОГНОЗ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ

**Степень пожарной опасности определяется:**

- способами ведения горных работ,
- скоростью ведения горных работ,
- геологическими особенностями месторождения.

Аналогично оценивают пожарную опасность систем разработки при применении их в разных геологических условиях.

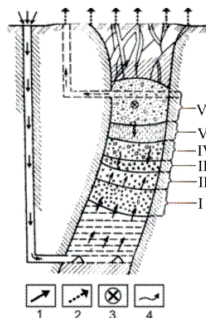
Иногда оценивают пожарную опасность по времени  $\tau$  возникновения пожара от начала работ на участке.

Относительную пожарную опасность залежи  $\rho_p$  или пласта можно оценить по числу пожаров ( $n_p$ ), приходящихся на 1 млн. т добычи при одинаковых системах разработки.

**Важнейшими геологическими факторами пожарной опасности являются:**

- 1)  $N_p$  - мощность пласта или рудного тела;
- 2)  $d_p$  - дистанция размещения пластов;
- 3)  $\varphi_p$  - угол залегания;
- 4)  $\Psi_p$  - тектоническая неоднородность;
- 5)  $\alpha_p$  - характер вмещающих пород;
- 6)  $L_p$  - глубина залегания;
- 7)  $\Sigma_p$  - химический состав пласта или рудного тела.

Чем больше мощность пласта, тем выше пожарная опасность. Это обусловлено тем, что нарушения продуктивной толщи увеличиваются с ростом возмущающего воздействия. Кроме того, с увеличением мощности увеличиваются потери по площади, растут и потери в целиках, разрушаемых силами горного давления и представляющих собой скопления высокопроницаемого материала. При распространении очага эндогенного пожара различают следующие зоны его, последовательно перемежающиеся от очага возникновения в направлении притока воздуха (см. рис.3). [<https://helpiks.org/5-29953.html> ]



**Рис.3.** Схема распространения очага эндогенного пожара: 1 – направление воздушной струи; 2 – направления движения газов, продуктов горения и окисления; 3 – очаг самовозгорания; 4 – направление движения очага самовозгорания.

*I* - зона испарения гигроскопической влаги; в этой зоне происходит выделение основной массы влаги, содержащейся в горючем;

*II* - зона выделения летучих; эта зона характеризуется пирогенетическим разложением горючего с выделением из него летучих веществ; здесь наблюдается начало практически заметного химического взаимодействия между кислородом и горючим веществом;

*III - зона воспламенения; в ней происходит переход окислительного процесса во времени интенсивного горения. По размерам эта зона невелика, но роль ее значительна, так как она служит источником возникновения IV зоны;*

*IV - зона горения; для нее характерно наличие свободного кислорода и частиц раскаленного горючего;*

*V - зона восстановления; в ней газы - продукты горения - почти не содержат свободного кислорода, поэтому протекают преимущественно вторичные реакции восстановления;*

*VI - зона потухания, или инертная зона; характеризуется выгоранием горючего и накоплением золы, что в заметной степени происходит уже в зоне восстановления. В зоне потухания среди органической и неорганической массы, подвергнувшейся в той или иной степени пирогенетическому разложению, выделяются (как островки) включения негорючих инертных пород.*

Если к очагу воздух поступает медленно сверху вниз, то пожар распространяется навстречу, вверх, или, как говорят, поднимается.

### **1.1. Прогноз пожарной опасности**

Для склонных к самовозгоранию пластов угля устанавливается группа эндогенной пожарной опасности. Пласты угля по эндогенной пожарной опасности подразделяются на три группы:

*I - особо опасные;*

*II - опасные;*

*III – малоопасные.*

Склонность пластов угля к самовозгоранию устанавливается на основании результатов специальных испытаний. На пластах угля, склонного к самовозгоранию, должен быть организован контроль за ранними стадиями самовозгорания путем установления изменения отношений концентраций оксида углерода к водороду и этилена к ацетилену.

Показателем стадии самонагревания угля является отношение объемных долей оксида углерода к водороду больше 10, а стадии самовозгорания и горения - меньше 10.

По значению отношения объемных долей этилена к ацетилену определяется температура угля в месте отбора его проб.

Для различных марок углей конкретному численному значению отношения этилена ( $C_2H_2$ ) к ацетилену ( $C_2H_4$ ) соответствует определенная температура скопления.

В качестве коэффициента пожарной опасности горной выработки принято произведение вероятности возникновения пожара в выработке на вероятность его развития. Вероятность возникновения пожара характеризует выработку со стороны возможных тепловых импульсов.

Вероятность развития пожара зависит от наличия в выработках горючих материалов и трудности его тушения.

## **2. СОПОСТАВИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТА РАБОТЫ С УРОВНЕМ ВЕДУЩИХ СТРАН МИРА**

Для тушения эндогенного пожара достаточно устранение одного из условий эндогенного пожара:

- a) снижение доступности критического объема горючего материала;*
- b) прекращение поступления воздуха или его вытеснение;*
- c) прекращение теплообразования или его эффективный теплоотвод.*

Тушение рудничных пожаров обычно производят:

*- активным способом, заключающимся в непосредственном воздействии на очаг пожара различными средствами пожаротушения (водой, огнетушителями, пеной химической или воздушно-механической, песком, инертной пылью);*

*- способом изоляции очага пожара, т. е. прекращением притока к нему свежего воздуха.*

*Изоляция достигается:*

*- установкой в выработках, ведущих к очагу пожара, перемычек, тампонированием трещин, по которым воздух может проникнуть с поверхности в шахту и, как крайняя мера, затоплением участка пожара или всей шахты водой;*

*- комбинированным способом, когда наряду с непосредственным воздействием на очаг пожара водой, пеной, инертными газами и др. применяется изоляция пожарного участка перемычками, а также когда от изоляции переходят к активным способам борьбы с пожаром.*

Противопожарные переемычки должны устанавливаться вблизи очага пожара. Конструкция переемычек должна обеспечивать надежную герметизацию пожарного участка. Если их возводят в выработках, пройденных в неустойчивых или трещиноватых породах, стенки выработки, прилегающие к переемычке, цементируют или тщательно замазывают глиной, либо защищают «рубашками» из глины, кирпича и других материалов.

Противопожарные переемычки бывают:

- временные,
- постоянные,
- баррикадные (взрывоустойчивые).

Предложена *Концепция пожаротушения эндогенных суперпожаров (КПЭС)* с использованием альтернативных источников энергии (АИЭ); больших объемов криогенного жидкого азота (АДС - автономные азотодобывающие станции), получаемых за счет использования АИЭ и газообразного азота (МТ - мембранная технология); инъекции в газифицированный азотный поток суспензии бинарного льда (*Binary Ice*) (вода и соли веществ, повышающие емкость фазового перехода и одновременно закупоривающих скелет кислородподающих трещин, микротрещин, пор в районе очага горения, с использованием низкоуглеродистых замороженных продуктов термолитиза отходов, обладающих высокой теплоемкостью и высокой кинематической вязкостью - пломбировка кислородных транспортных трещин); с использованием высокоточной методики определения контуров и координат очага пожара на основе мониторинга основных идентифицируемых параметров; специальной мобильной и автономной надежной аппаратурой газового анализа; влажности; температуры для постоянной их регистрации и коррекции технологии и рецептуры подаваемой среды, состоящей из холодной инертной, флегматизирующей, пломбирующей кислородные транспортные каналы субстанции; с использованием подземных самодвижущихся систем («Подземный дрон») для прокладки гибких криогенных трубопроводов с износостойким внутренним покрытием; с использованием систем доставки и установки сенсоров газоаналитической аппаратуры к наиболее вероятным подземным пограничным областям очага пожара с целью постоянного контроля габаритов и формы очага горения.

***Предложенный способ ВИЭ – генерации криогенного и газообразного азота для локализации, флегматизации, охлаждения и обдува очага пожара (азотная завеса)***

Подземные пожары требуют колоссального объема автономных энергоресурсов, экологически чистых флегматизирующих, ингибирующих, охлаждающих и кислородвытесняющих веществ, а также точного определения компонентов реагирующих веществ и конфигурации ядра подземного пожара, полного и точного представления физико-химической картины эндогенного пожара.

Для тушения эндогенного суперпожара (достижения целевой функции тушения пожара –  $P(t)$  значения равного 1, где  $t$  – время процесса тушения пожара) достаточно убрать или существенно снизить влияние одного из действующих факторов: а)  $F(t)$  – функция степени взаимодействия *поверхности доступа с окислительной средой воздуха* и  $V(t)$  – функция степени прекращения реализации окислительных реакций в объеме горючего материала, при достижении значения 1 все окислительные реакции в объеме горючего материала прекращены; б)  $W(t)$  – функция прекращения поступления воздушного потока, при достижении значения 1 поступление воздуха через пористую матрицу к эпицентру пожара прекращено; в)  $Q(t)$  – функция прекращения генерации теплового потока, при достижении значения 1 генерация теплового потока в объеме пожара прекращена.

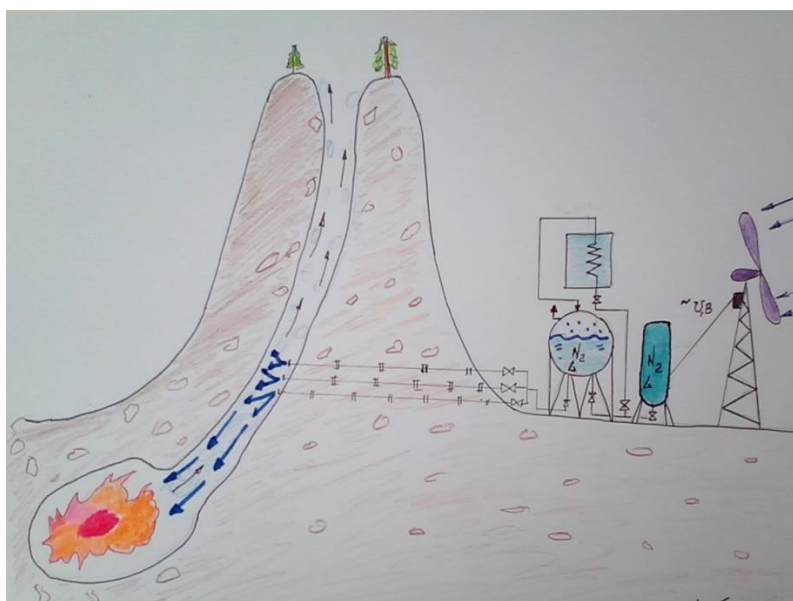
$$P(t)=F(t)=1; P(t)=V(t)=1; P(t)=W(t)=1; P(t)=Q(t)=1$$

В работе предложены инновационные средства газового контроля подземного эндогенного суперпожара по определению картины распределения влажности, картины распределения температур, карты концентраций  $O_2$  и  $CO$ , а также методика определения эпицентра пожара и контуров его ядра. Результаты замеров температуры наносят на вертикальный разрез участка, соединив точки с одинаковой температурой, определяют эпицентр пожара.

Наиболее надежным и точным методом своевременного обнаружения рудничных пожаров является систематический контроль за изменением локальной влажности, химическим составом рудничного воздуха и воды в сочетании с замерами температуры в выработках.

В связи с тем что при эндогенных суперпожарах поверхности доступа и объем горючего материалы чрезвычайно велики, поступление воздуха и образование избыточного тепла как правило значительны, то потребное количество охлаждающих, флегматизирующих, вытесняющих воздух веществ также значительно. При этом существующая инфраструктура генерации пожаротушающих, охлаждающих и флегматизирующих веществ рассредоточена на большой территории и ее концентрация

не достаточно для тушения суперпожара эндогенной этимологии. На основе имеющегося положительного инновационного опыта по тушению крупного техногенного пожара в крупном кабельном канале предложены высокоэффективные средства пожаротушения на основе газифицирующегося (в 800 раз по объему) криогенного азота, поступающего к очагу горения под заданным давлением. Предложены разработанные автором концепции криогенных пожарных транспортных средств для эксплуатации в карьерных разрезах и хвостохранилищах в условиях отсутствия кислорода и наличия большого количества воды. Пожаротушение азотом имеет ряд преимуществ. Если тушить пожар в шахте водой, то она придет в негодность на десятки лет. Высокая температура в ядре пожара может разлагать воду на кислород и водород с образованием гремучей смеси и взрыва. Пожаротушение азотом - объемное. При таком способе тушения азот проникает во все уголки, распространяясь по всему разрезу или шахте. Азот для тушения пожаров можно генерировать прямо на месте. Также, для того, чтобы обеспечить незамедлительную реакцию во время возгорания можно использовать ресиверы системы пожаротушения. В ресиверах поддерживается определенное количество азота, нужного для пожаротушения. Впервые предложено производить большое количество криогенного азота непосредственно в районе тушения пожара с использованием мобильных высокопроизводительных и экологически чистых энергосредств альтернативной энергетики (ветряная энергогенерирующая башня, передвижные ветрогенераторы, автономные солнечные электростанции т.д.).



*Рис.5. Автономная мобильная система пожаротушения, состоящая из штатных систем ВИЭ, установленных в месте применения, генерации жидкого и газообразного азота на месте применения, систем накопления криогенного жидкого продукта, систем очистки азота от кислорода (абсорберы), систем газификации на основе атмосферных испарителей, систем мембранного разделения, систем компримирования, разборных трубопроводов, буровых устройств, систем прокладки (доставки, например, подземный дрон), гибких криогенных трубопроводов по пробуренным скважинам от места генерации газифицированного холодного азота к месту пожара, запорной аппаратуры, газоаналитической аппаратуры, системы автоматического управления.*

Предложено использование разделителей воздуха с выделением целевого продукта – азота на основе мембран (молекулярных сит), вихревых устройств.





*Рис. 6 а. Мембранная технология получения больших количеств газообразного азота (ООО НТЦ «ТАТА»)*

*Рис. 6 б. Вихревая технология получения больших количеств газообразного азота (ООО НТЦ «ТАТА») разделением воздуха на фракции*

Получение больших количеств газообразного азота в районе экокатастрофы необходимо для вытеснения воздуха. Кроме того, получение больших количеств газообразного азота необходимо для его использования в качестве сырья для целевого продукта криогенного азота в процессе ожижения. Это снижает эксергетические затраты на получение криожидкости азота.

Таким образом, в работе рассматривается как применение газифицирующейся криожидкости, так и газообразного азота.

В результате выполнения работы предложена эффективная апробированная крупномасштабная технология азотного пожаротушения (криожидкость + газифицирующийся азот + газообразный азот).

Предложены экологически чистые комплексы генерации значительного количества энергии и криожидкости азота для их потребления на месте тушения пожара на основе использования альтернативных источников энергии, размещенных в зоне суперпожара эндогенной этимологии.

Автором предложены концептуальные схемы пожарных криотранспортных средств различного класса (легковые автомобили, грузовые автомобили, локомотивы) для применения их в хвостохранилищах в условиях эндогенных суперпожаров и на запретных близлежащих территориях и средств перевозки крупных количеств азота к месту пожара (дирижабли, танкеры).

В работе предложены средства газового контроля подземного эндогенного пожара по концентрации  $O_2$  и  $CO$ , а также методика определения эпицентра пожара и его ядра.

На основе имеющегося у автора положительного инновационного опыта по внедрению предложенного способа пожаротушения на основе газифицирующегося криогенного азота в сложной ситуации самовозгорания 200 кабелей в крупном кабельном 8-ми километровом канале Космического стартового комплекса «Энергия-Буран» [3,4,5] предложены средства пожаротушения на основе газифицирующегося криогенного азота, поступающего к очагу горения под заданным давлением [13].

Кроме того, предложены разработанные автором концепции криогенных пожарных транспортных средств для эксплуатации в карьерных разрезах и хвостохранилищах, в том числе и в аварийных условиях при отсутствии кислорода и наличия больших количеств воды.

Впервые предложено производить большие количества криогенного азота непосредственно в районе тушения пожара с использованием мобильных высокопроизводительных средств альтернативной энергетики (ветряная энергогенерирующая башня, ветрогенераторы, и т.д.) [ ]. Предложено использование мембран (молекулярных сит) для получения газообразного азота в качестве сырья для целевого продукта криогенного азота в процессе при ожижения, что снижает затраты энергии на получение криожидкости азота [ ].

Предложено применение специально разработанных инновационных порошков, материал которых имеет высокий коэффициент теплоемкости и высокий коэффициент поверхностного натяжения, высокий коэффициент кинематической вязкости и динамической вязкости, изготовленных из отходов. При попадании порошка в высокотемпературную зону происходит поглощение тепла очага горения и осаждение испаряющихся веществ в виде пленки на трещиновато-пористое тело каркаса породы, окружающего очаг горения.

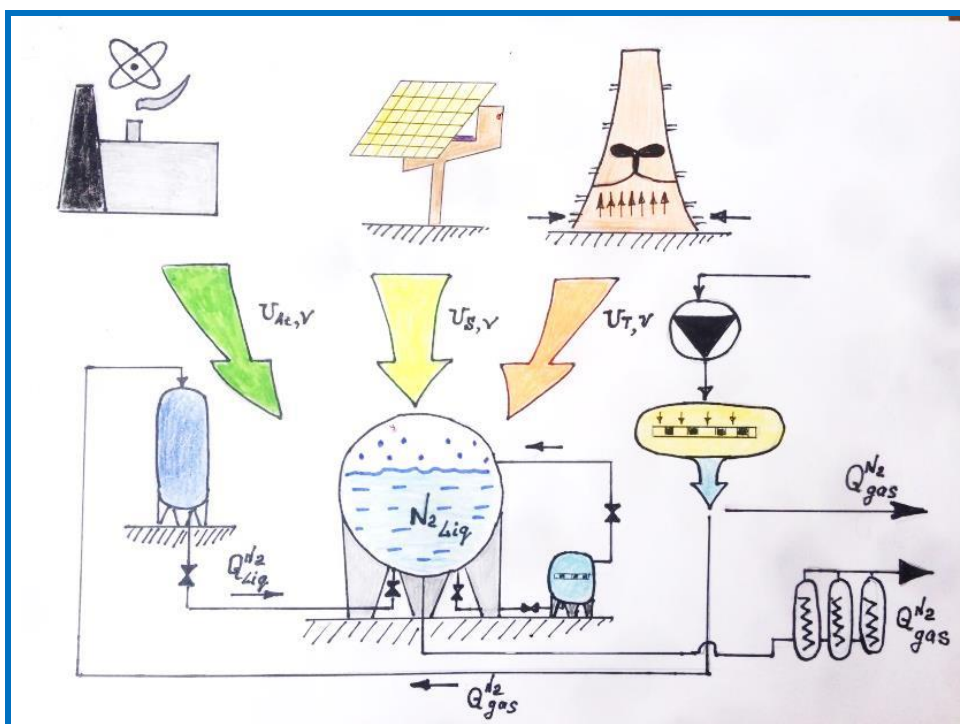


Рис.7 Производство необходимых объемов электроэнергии в непосредственной близости к зоне тушения суперпожара, производство необходимого количества газообразного азота мембранным методом, криожидкости азота, осуществление процесса накопления криогенного и газообразного азота, газификация криожидкости в атмосферном испарителе и подача газифицированного азота к месту локализации пожара для вытеснения окислительной среды, поддерживающей горение, охлаждения горючего вещества, охлаждения теплоаккумулирующих веществ вблизи очага пожара.

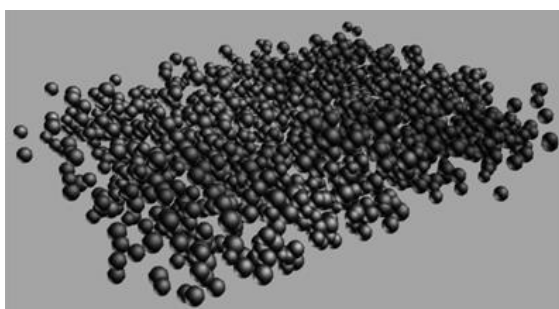


Рис. 8. Антипожарный порошок ингибирующего и флегматизирующего вещества из мусорных отходов с высоким коэффициентом теплоемкости и высоким коэффициентом поверхностного натяжения, высоким коэффициентом адгезии.

#### Сопоставительный анализ по признакам способа и инфраструктуры.

- 1) Предложена Концепция пожаротушения эндогенных суперпожаров с использованием альтернативных источников энергии (АИЭ). Концепция определяет технологию и инфраструктуру систем пожаротушения эндогенных суперпожаров.

Проведенный библиографический и патентный поиск по 20 ведущим странам не выявил прототипов.

- 2) При тушении суперпожаров применяются большие объемы газифицирующегося криогенного жидкого азота (АДС - автономные азотодобывающие станции), получаемых за счет использования АИЭ и газообразного азота (МТ- мембранная технология).

Обеспечивается флегматизация горящих поверхностей за счет применения «азотной завесы». Обнаружены аналоги, в которых применяют временные противопожарные переемы, сооружают, когда необходимо быстро сократить количество воздуха, поступающего в район пожара, пока у мест изоляции не будут сосредоточены необходимые материалы для сооружения постоянных переемычек.

Проведенный библиографический и патентный поиск по 20 ведущим странам не выявил прототипов.

- 3) **При тушении суперпожаров применяются инъекции в газифицированный азотный поток суспензии бинарного льда (вода и соли веществ, повышающие емкость фазового перехода и одновременно закупоривающих скелет кислородподающих трещин, микротрещин, пор в районе очага горения. Бинарный лед генерируется в непосредственной близости от объекта пожаротушения с использованием генераторов холода, работающих на АИЭ.**

Проведенный библиографический и патентный поиск по 20 ведущим странам не выявил прототипов.

- 4) **Использование низкоуглеродистых замороженных продуктов термолитизации отходов, обладающих высокой теплоемкостью и высокой кинематической вязкостью - пломбировка кислородных транспортных каналов природного происхождения).**

Проведенный библиографический и патентный поиск по 20 ведущим странам не выявил прототипов.

- 5) **Использование высокоточной методики определения контуров и координат очага пожара на основе мониторинга основных идентифицируемых параметров с использованием подземных, воздушных и наземных дронов, оснащенных газоанализирующей аппаратурой.**

#### ***Генезис и определение контуров ядра рудничного эндогенного пожара***

По причинам возникновения рудничные пожары делятся на две основные группы: экзогенные, возникающие под действием внешних источников высокой температуры, и эндогенные, возникающие при самовозгорании некоторых полезных ископаемых и вмещающих пород.

#### *Рудничные пожары*

Экзогенные пожары могут возникать на рудниках от действия электрической искры:

- *нарушений правил безопасности при сварочных и автогенных работах и ряда других причин.*
- *при коротком замыкании электрического тока,*
- *небрежного обращения с открытым огнем,*
- *горения кабеля.*

Эндогенные пожары возникают при разработке месторождений полезных ископаемых с большим содержанием сульфидов металлов (цинка, меди, свинца, железа, никеля и др.). Под действием кислорода сульфиды окисляются с выделением тепла. В тех случаях, когда генерация тепла больше теплоотдачи его во внешнюю среду, массив самовозгорается. По мере повышения температуры ускоряется процесс окисления и одновременно увеличивается теплоотдача.

При эндогенных суперпожарах температура вещества повышается за счет химических процессов. Наиболее часто эндогенные суперпожары возникают от самовозгорания полезного ископаемого в выработанных участках.

Процесс окисления и самовозгорания сульфидных руд может протекать на поверхности или неглубоко от нее. Поэтому плотные руды не самовозгораются до их разрыхления. Опасности самовозгорания подвергаются разрыхленные руды, а также массивы руды, находящиеся в целиках, разбитых трещинами, в которые проникают воздух и влага, способствующие окислению и самовозгоранию.

Опасными в пожарном отношении являются участки месторождения со скоплениями дробленной руды и пыли.

Эндогенные суперпожары возникают в колчеданных рудниках при взаимодействии многих факторов, из которых особое значение имеют:

- *наличие в выработках раздробленного колчедана, сульфидной крошки и пыли в условиях, способствующих окислению;*
- *большая кислотность рудничных вод;*
- *приток воздуха в выработанное пространство;*
- *электротехнические токи, образующиеся при контакте минералов с естественными потенциалами;*
- *наличие в шахте крепежного леса, контактирующего с колчеданной крошкой и пылью в заброшенных выработках, подвергающихся горному давлению, где крепежный лес деформируется и расщепляется, а руда измельчается, увеличивая поверхность контакта;*
- *генерация теплоты при окислении руд;*
- *благоприятные условия аккумуляции теплоты (термические свойства пород и применяемых закладочных материалов).*

От своевременности обнаружения рудничных пожаров зависит успех борьбы с ними.

Рудничные пожары распознают по:

- *внешним признакам,*
- *газоаналитическим,*
- *физическим (пирометрическим) методами.*

По внешним признакам начинающиеся рудничные пожары обнаруживают по увеличению влажности воздуха вблизи пожара. С увеличением температуры возгораемого массива в выработках образуются туманы, а на более холодных стенках пары воды конденсируются и оседают в виде капель выпотов. В районе возникающих рудничных пожаров увеличивается температура рудничного воздуха и воды, появляется характерный кислотовато-битуминозный запах. При окислении колчеданных руд выделяется также сернистый газ с острым запахом и вкусом, сильно разъедающий слизистую оболочку глаз. Основным признаком эндогенного пожара является устойчивое присутствие окиси углерода в пробах воздуха в количестве 0,01% и более. Дополнительными признаками эндогенного пожара являются:

- повышение температуры воздуха и воды до 25° и более;
- увеличение влагосодержания воздуха в два раза по сравнению с первоначальным значением;
- совместное присутствие водорода и углеводородов в концентрациях выше фоновых значений в пробах воздуха. [[https://studopedia.ru/2\\_88405\\_pri-vedenii-gornih-rabot.html](https://studopedia.ru/2_88405_pri-vedenii-gornih-rabot.html)]

Эндогенные пожары имеют свою специфику развития [<https://helpiks.org/5-29951.html>].

В процессе развития эндогенного пожара выделяют следующие стадии:

- 1) *самонагревания;*
- 2) *раннюю стадию самовозгорания;*
- 3) *стадию горения угля.*

Самонагревание угля начинается, как только создаются условия для аккумуляции теплоты. Интенсивное нагревание угля на этой стадии невозможно, поскольку выпаривание содержащейся в угле влаги отнимает значительное количество теплоты. Стадия самонагревания длится в течение нескольких недель или месяцев, в основном определяет длительность инкубационного периода процесса самовозгорания и протекает в интервале температур, начиная со значений, характерных для условий данной выработки, и до критической температуры самовозгорания. По достижении критической температуры начинается ранняя стадия самовозгорания угля. В этой стадии развития эндогенного пожара быстро разогревается уголь, что приводит к его воспламенению (табл.2).

**Таблица 2 - Критическая температура самовозгорания различных углей**

<b>Вид угля</b>	<b>Критическая температура самовозгорания <math>t_{кр}^{\circ}C</math></b>	<b>Температура воспламенения <math>t_{\circ}^{\circ}C</math></b>
Бурый уголь	70-90	150-200
Каменный уголь ( $V^{daf} > 20\%$ )	90-120	300-350
Тощие угли ( $V^{daf} < 20\%$ )	1200-1400	600-700

Проведенный библиографический и патентный поиск по 20 ведущим странам не выявил прототипов.

#### **б) Использование специально разработанный мобильной и автономной надежной аппаратуры газового анализа.**

В ходе выполнения исследований был разработан инструментарий газового анализа для применения методов обнаружения эндогенных пожаров. Эндогенные пожары имеют свои методы и средства обнаружения очагов самонагревания и самовозгорания угля. Контроль за самонагреванием угля осуществляется по устойчивому повышению объемной доли оксида углерода и водорода относительно фоновых в горной выработке. При этом на стадии самонагревания отношение долей CO к H<sub>2</sub> превышает 10, а на стадии горения - менее 10. Для определения микродолей оксида углерода применяются аппаратура непрерывного контроля, газоанализаторы химические, а также, в том числе и для определения доли водорода, хроматографы.

**Методы обнаружения эндогенных пожаров разделяют на четыре основные группы:**

- 1) *Химико-аналитические методы.*

С помощью них устанавливают признаки пожарной опасности в основном по результатам опробования и химического анализа шахтного воздуха, горных пород, воды, материалов крепи и закладки.

2) **Минералого-геохимический метод.**

Метод является дальнейшим шагом в деле изучения подземных пожаров по составу горных пород путем наблюдения за вторичными минералами, образующимися при развитии окислительных процессов в руднике.

3) **Физические методы.**

Основаны на распознавании пожара специальными приборами по тем физическим параметрам, которые в определенной мере зависят от влажности рудничного воздуха, воды и горных пород, теплового состояния среды, температуры рудничного воздуха и др.

4) **Физиологические методы.**

Основаны на обнаружении пожаров по так называемым «внешним» признакам, т. е. непосредственно улавливаемым органами чувств (зрением, обонянием, и др.) без каких-либо специальных приборов и аппаратуры.

Целесообразнее всего комплексно пользоваться всеми имеющимися способами, взаимно дополняя и проверяя полученные данные.

Определение температуры очага самовозгорания производят по соотношению объемных долей этилена и ацетилена. Пробы для определения долей этилена и ацетилена в газоаналитической лаборатории ГВГСС отбирают в заполненные сорбентом и откалиброванные трубки-концентраторы. Ориентировочное месторасположение очага эндогенного пожара может быть обнаружено по аномальному изменению инфракрасного излучения поверхности горных выработок с помощью пирометров. Выявляются аномальные места нагревания, производят по результатам измерения температуры через каждый метр выработки путем составления тепловых карт, которые отражают распределение температуры вдоль поверхности горной выработки.



*Рис. 4а Разработанные автором с коллегами модели автономных газоанализаторов концентрации водорода и течеискатели, которые могут успешно применяться при определении концентрации водорода в полевых условиях (ООО НТЦ «ТАТА»)*



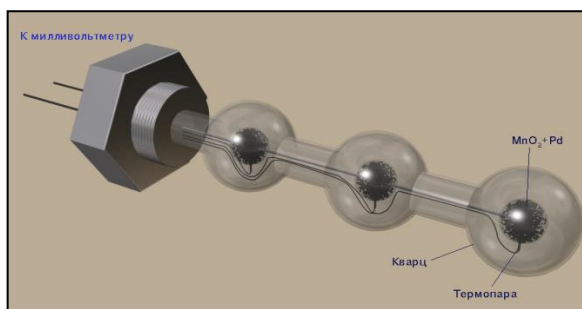


Рис.4б. Сенсор водорода

*Вывод:* проведенный библиографический и патентный поиск по 20 ведущим странам не выявил прототипов.

**7) Использование специальной аппаратуры для определения влажности.**

*Вывод:* проведенный библиографический и патентный поиск по 20 ведущим странам не выявил прототипов.

**8) Использование специальной аппаратуры для определения температуры для постоянной их регистрации и коррекции технологии и рецептуры подаваемой среды, состоящей из холодной инертной, флегматизирующей, пломбирующей кислородные транспортные каналы субстанции.**

*Вывод:* проведенный библиографический и патентный поиск по 20 ведущим странам не выявил прототипов.

**9) Использование подземных самодвижущихся робототизированных систем – дронов для прокладки гибких криогенных трубопроводов с износостойким внутренним покрытием.**

*Вывод:* проведенный библиографический и патентный поиск по 20 ведущим странам не выявил прототипов.

**10) Использование систем доставки - дронов и установки сенсоров газоаналитической аппаратуры к наиболее вероятным подземным пограничным областям очага пожара с целью постоянного контроля габаритов и формы очага горения.**

*Вывод:* проведенный библиографический и патентный поиск по 20 ведущим странам не выявил прототипов.

**11) Использование робототизированных средств пожаротушения при тушении крупных эндогенных пожаров на основе управляемых аппаратов легче воздуха.**

*Вывод:* проведенный библиографический и патентный поиск по 20 ведущим странам не выявил прототипов.

**12) Использование пожаробезопасных робототизированных средств пожаротушения на основе автотранспортных автоматизированных средств на криогенном азоте. Важным являются средства доставки криоазота, а также пожаро-, взрывобезопасный транспорт для работы в зоне отчуждения и в хвостохранилищах.**

Предложены концептуальные схемы пожарных криотранспортных средств различного класса (легковые автомобили, грузовые автомобили, локомотивы) для применения их в хвостохранилищах в условиях эндогенных суперпожаров и на запретных близлежащих территориях и средств перевозки крупных количеств азота к месту пожара (дирижабли, танкеры).

*Вывод:* проведенный библиографический и патентный поиск по 20 ведущим странам не выявил прототипов.

**13) Использование пломбирующих растворов, твердеющих в заданном интервале температур.**

Обнаружены аналоги, в которых для пломбирования каналов поступления воздуха используется метод заливания, который является одним из наиболее надежных способов предупреждения и тушения пожаров. Сущность этого способа заключается в том, что участок месторождения, где возник пожар, изолируют от остальных участков изолирующими перемышками, а затем в него самотеком или искусственным напором подают пульпу. Пульпа представляет собой водную суспензию тонкодисперсного твердого материала глины, суглинков и пр. При заполнении выработанного пространства пульпой вода отфильтровывается и стекает на откаточные выработки и далее в водосборник, а твердые частицы заполняют выработанное пространство и все трещины, находящиеся в массиве, препятствуя проникновению воздуха в пожарные

участки. В результате заиливания выработанного пространства тормозятся окислительные процессы и охлаждаются полезные ископаемые и вмещающие породы.

*Вывод: проведенный библиографический и патентный поиск по 20 ведущим странам не выявил прототипов.*

### 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. КРУПНОМАСШТАБНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗИФИЦИРУЮЩЕГОСЯ АЗОТА ПРИ ТУШЕНИИ КРУПНОГО ТЕХНОГЕННОГО ПОЖАРА В ЗАМКНУТОМ ОБЪЕКТЕ.

Для оптимального использования запасов инертного газа за счет регулирования фазового состава огнетушащего вещества, обеспечиваемого путем регулирования интенсивности подачи криогенной жидкости по криогенному трубопроводу. Установка (Рис.5) содержит криогенную емкость с жидким азотом, газосброс, трубопровод подачи огнетушащего вещества, регулируемый клапан, по крайней мере, один датчик обнаружения, испаритель, который расположен вне криогенной емкости и нижним концом сообщен с нижней ее частью, заполненной жидким азотом, а верхним - с объемом ее наджидкостного пространства, причем на начальном участке испарителя установлен регулируемый клапан, трубопровод подачи огнетушащего вещества выполнен в виде криогенного трубопровода, на нем установлен регулируемый клапан, один конец криогенного трубопровода связан с криогенной емкостью в зоне, заполненной жидким азотом, на другом его конце установлен датчик обнаружения пожара, связанный с регулируемыми клапанами трубопровода и испарителя.

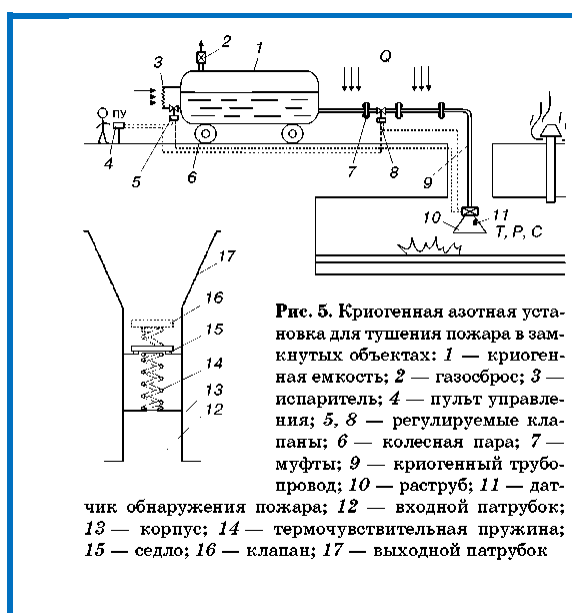


Рис.8. Криогенная азотная установка для тушения пожара в замкнутых объектах [3]

Датчик обнаружения пожара может представлять собой датчик температуры, или датчик задымленности, или датчик загазованности. Датчик температуры может быть выполнен в виде биметаллического кольца, изготовленного в виде кольцевого постоянного магнита, покрытого оболочкой из ферромагнитного материала с точкой Кюри, близкой к температуре кипения жидкого азота, при этом биметаллическое кольцо теплоизолировано от корпуса муфты, напротив биметаллического кольца, в корпус муфты вмонтирован магнитоуправляемый контакт - геркон. Регулируемый клапан выполнен в виде термочувствительного клапана и содержит корпус, входной и выходной патрубки, собственно клапан, седло, выходной патрубок выполнен в виде диффузора, а собственно клапан связан с рабочей термочувствительной пружиной, выполненной из материала с памятью формы и закрепленной в корпусе клапана. Установка может быть снабжена пультом управления. Криогенная емкость может иметь возможность перемещения, например, посредством колесной пары.

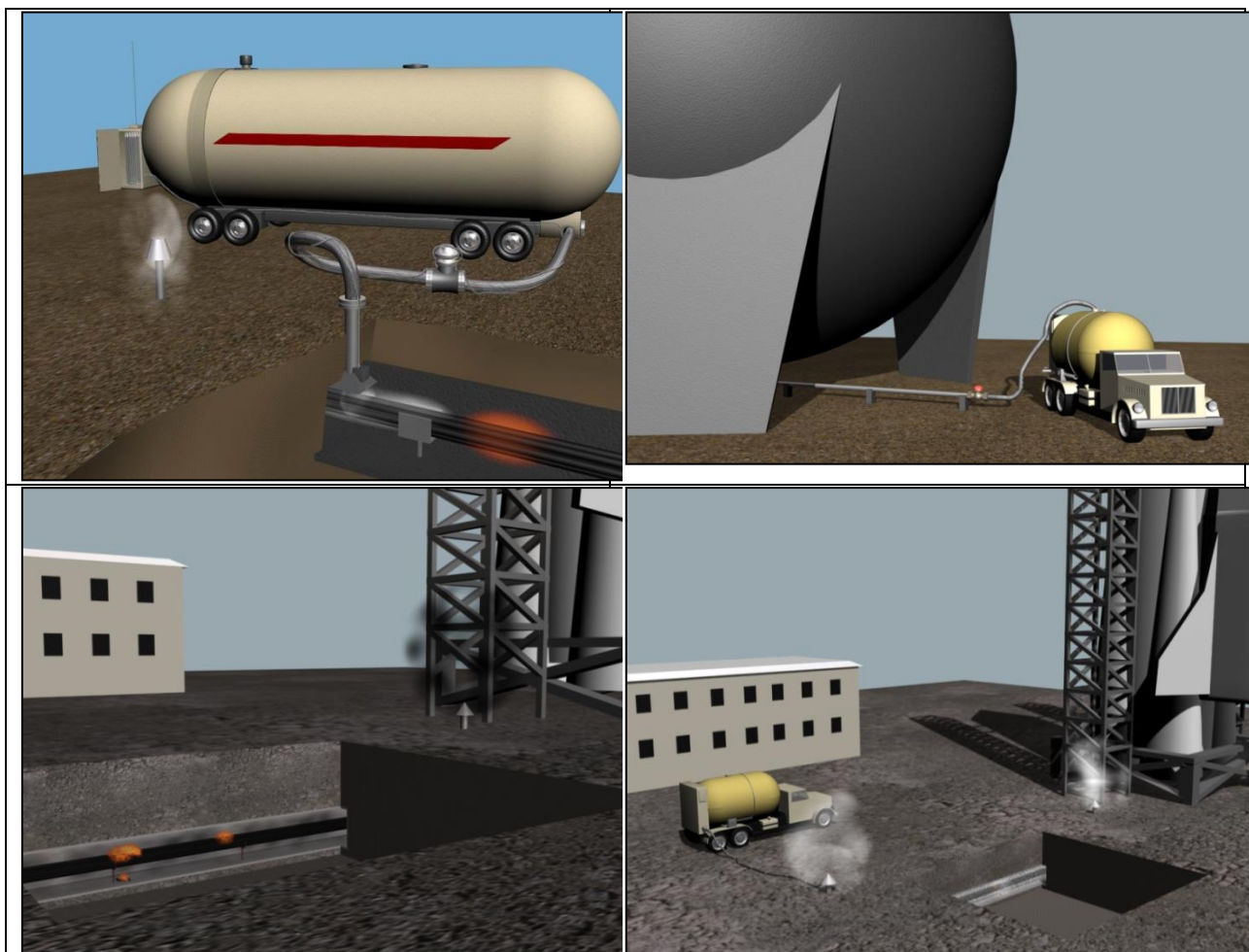


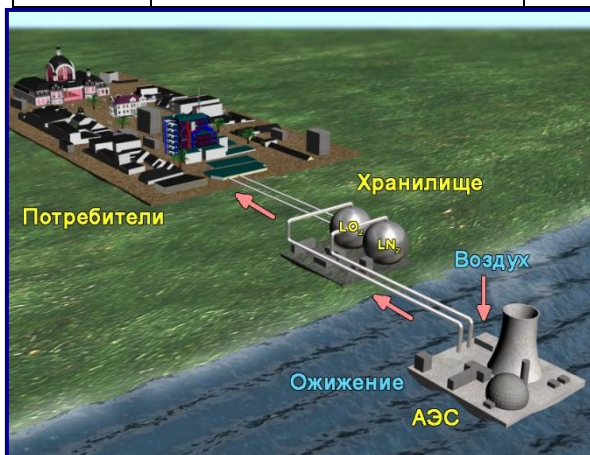
Рисунок 9 – реализация способа пожаротушения пожара 200 кабелей в крупном канале на космическом старте газифицирующимся криогенным азотом [3,4,5].

#### 4. ПОЛУЧЕНИЕ БОЛЬШИХ КОЛИЧЕСТВ КРИОАЗОТА В РАЙОНЕ КРУПНЫХ РУДНИЧНЫХ ЭНДОПОЖАРОВ

Таблица 1

Стоимость жидкого азота в различных странах мира

Страна	Стоимость одного литра, Euro	Источник
Россия	0.2 Euro (2003)	<a href="http://www.terralab.ru/supply/26629/">http://www.terralab.ru/supply/26629/</a>
США	0.23 USD(2003)	<a href="http://procurement.umn.edu/contracts/contractdetails/Gases.htm">http://procurement.umn.edu/contracts/contractdetails/Gases.htm</a>
	0.25 USD (2002)	<a href="http://chemistry.berkeley.edu/eng_fac/liquid_air/price.html">http://chemistry.berkeley.edu/eng_fac/liquid_air/price.html</a>
Ирландия	1,5 Euro (2003)	<a href="http://www.ucg.ie/chem/LN2supply.pdf">http://www.ucg.ie/chem/LN2supply.pdf</a>



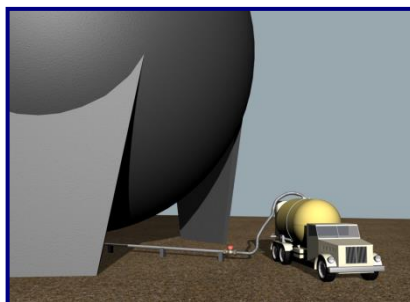
*Рисунок 10. Концепция получения жидкого азота в промышленных масштабах на АЭС  
(©STC "TATA" & Corporation "Nissan Motor")*

*Рисунок 11. Атомная электростанция*

## 5. КОНЦЕПЦИЯ ХРАНЕНИЯ И ТРАНСПОРТИРОВКИ БОЛЬШИХ КОЛИЧЕСТВ КРИОГЕННОГО АЗОТА



*Рисунок 12. Крупный криогенный азотный резервуар*



*Рисунок 13. Процесс заправки криогенного заправщика [3,4,5]*



*Рисунок 14. Ветроэнергетика для производства жидкого азота*

## 6. СРЕДСТВА ДОСТАВКИ КРУПНЫХ КОЛИЧЕСТВ КРИОГЕННОГО АЗОТА К МЕСТУ ТУШЕНИЯ ЭНДОГЕННОГО СУПЕРПОЖАРА

В процессе выполнения работы для транспортировки дополнительных ресурсов криогенного азота в зоне пожара предложено использовать как имеющиеся средства доставки криогенного азота, так и новые средства доставки (Рис.12, 13).

Большие объемы криогенного азота можно осуществлять в криогенных железнодорожных цистернах, танкерах с криорезервуарами, на дирижаблях с криогенными резервуарами, автомобильным транспортом с криоцистернами. Важным является качество средств хранения криогенного азота, а также стоимость и безопасность транспортировки криогенного азота. В этой связи важно для каждого случая правильно использовать арсенал средств доставки.

Доставка криогенного азота в зону пожара большими транспортными дирижаблями, которые помимо обычных транспортных свойств могут иметь средства оперативной доставки хладагента для тушения разлитых нефтепродуктов на воде представлена на рисунке 15.



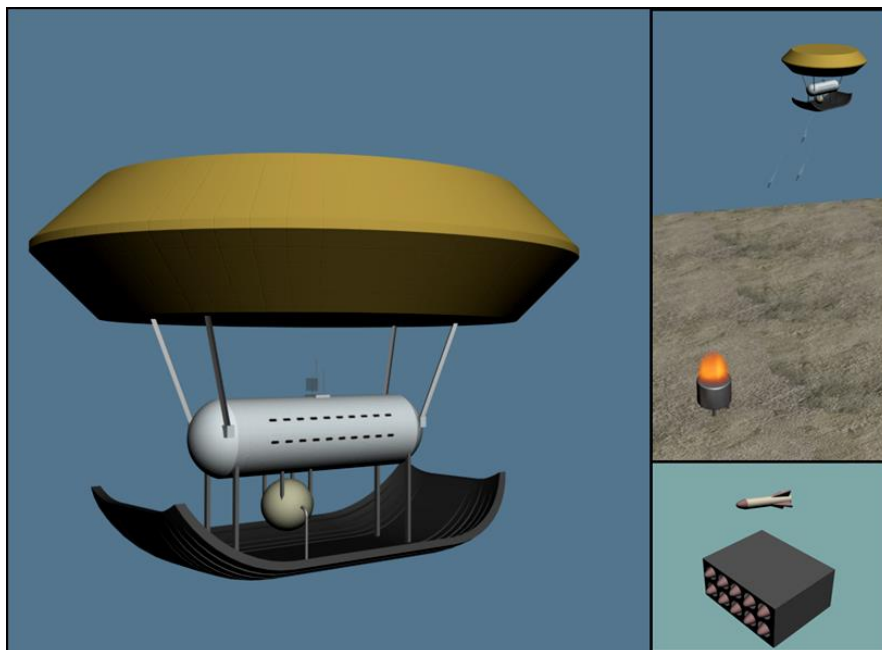


Рис.15. Доставка криогенного азота в зону пожара большими транспортными дирижаблями, которые помимо обычных транспортных свойств могут иметь средства оперативной доставки хладагента для тушения разлитых нефтепродуктов на воде

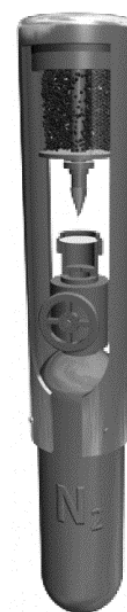


Рис.16 Полимерная пожарная бомба, содержащая криогенный или газообразный азот

*Доставка пожарных бомб, наполненных азотом.*

Автором предложено использовать газонаполненные или наполненные криогенной жидкостью полимерные сосуды, выполненные из свалочных полимерных отходов, снабженные термодатчиком или химическим датчиком Рис.16.

### 7.ТУШЕНИЕ ЭНДОГЕННОГО ПОЖАРА В ХВОСТОХРАНИЛИЩАХ

Хвостохранилища в связи с их чрезвычайной токсичностью всегда вызывают тревогу у местного населения и особенно при наличии вблизи них природных катаклизмов (Таблица №1, п.7).

#### 11.1. Транспортные средства для проведения пожарных работ в хвостохранилищах



Рис. 17. Пожарная техника в подземных выработках

Автором предложены концептуальные схемы пожарных криотранспортных средств различного класса (легковые и грузовые, локомотивы) для применения их в хвостохранилищах в условиях эндогенных пожаров в пилотируемом и беспилотном вариантах.





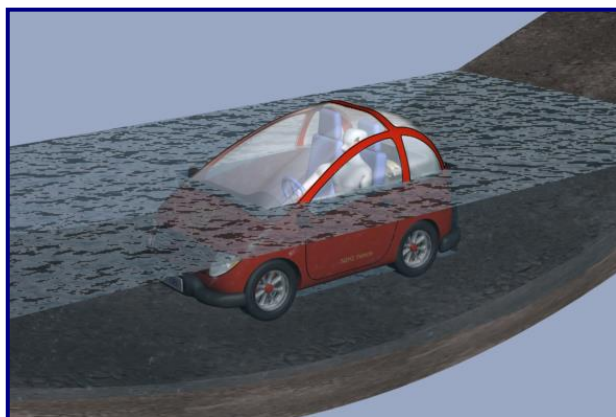
Рисунок 18 – легковой пожарный криоавтомобиль для осмотра объектов в хвостохранилище (©STC “TATA” & Corporation “Nissan Motor”)



Азотный автомобиль в подземном хвостохранилище (©STC “TATA” & Corporation “Nissan Motor”)



Средства повышенной проходимости (©STC “TATA” & Corporation “Nissan Motor”)



Средства повышенной проходимости (©STC “TATA” & Corporation “Nissan Motor”)



Средства повышенной проходимости (©STC “TATA” & Corporation “Nissan Motor”)

Рисунок 19 – применение криогенного азотного автомобиля в сложных условиях в карьерах и в хвостохранилищах



Рисунок 20 – применение криогенного азотного автомобиля в сложных условиях в хвостохранилищах

Основные преимущества концепт-модели гибридного криогенного азотно-водородного автомобиля (©STC “TATA” & Corporation “Nissan Motor”) представлены на рисунке 21.

	<p>Экологическая чистота при движении в любую погоду в городе, на автомагистрали, на горных дорогах, в тоннелях, в ангарах, на складах...</p>
	<p>Возможность движения сквозь огонь, в том числе во взрывоопасных помещениях за счет включения механизма азотной «газовой завесы».</p>
	<p>Возможность движения в воде и под водой в связи с отсутствием электропроводящих систем привода автомобиля.</p>
	<p>Движение по бездорожью при использовании выдвигной платформы с перемещающимися опорными пятнами с водородным приводом.</p>
	<p>Использование автомобиля в качестве «Скорой помощи» в пожароопасных и взрывоопасных районах.</p>

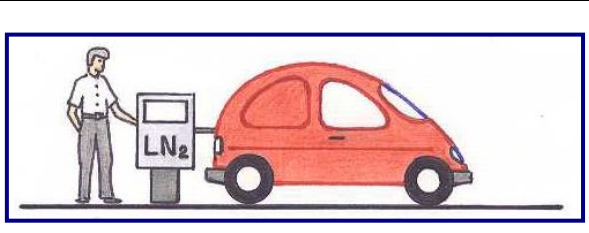

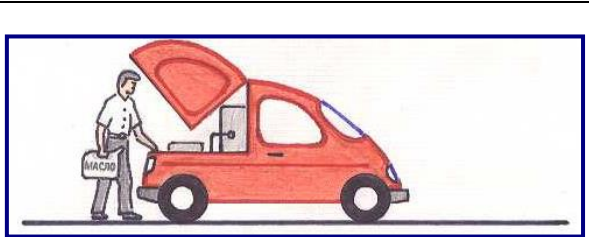
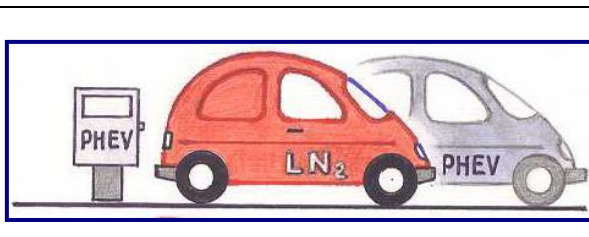
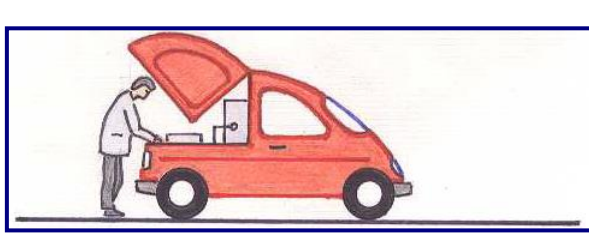
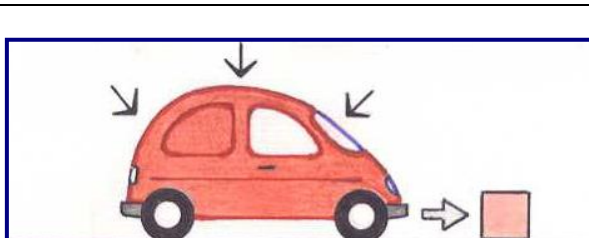
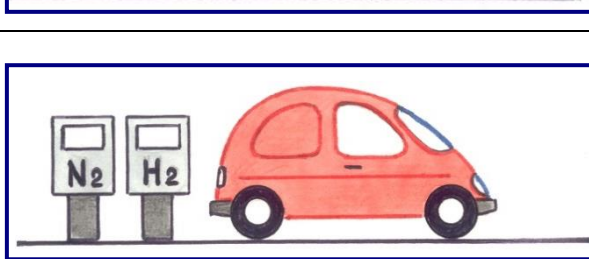
	<p>Экологическая чистота автомобиля – экологическая чистота заправочных станций.</p>
	<p>Возможность движения в огне позволяет использовать автомобиль при ликвидации чрезвычайных ситуаций.</p>
	<p>Минимальный расход смазочных материалов (в 10 раз меньше, чем у ДВС, одна заправка на 50 тыс. км).</p>
	<p>Унификация заправки с пневматическим автотранспортом.</p>
	<p>Минимальное количество сложных деталей создает простоту и удобство в обслуживании автомобиля</p>
	<p>Простота утилизации автомобиля в связи с минимальным количеством токсичных элементов.</p>
	<p>Унификация заправочных станций криогенных азотных автомобилей и водородных автомобилей</p>

Рис.21. Основные преимущества концепт-модели гибридного криогенного азотно-водородного автомобиля (©STC "TATA" & Corporation "Nissan Motor")



Предложены концепции применения высокомоощных пожарных транспортных средств, функционирующих на криогенном азоте Рис.22.

Пожарный железнодорожный транспорт — азот + радиоизотопный источник Рис.22- 25.



Рис.22. Внешний вид криогенного азотного поезда (©STC "TATA")

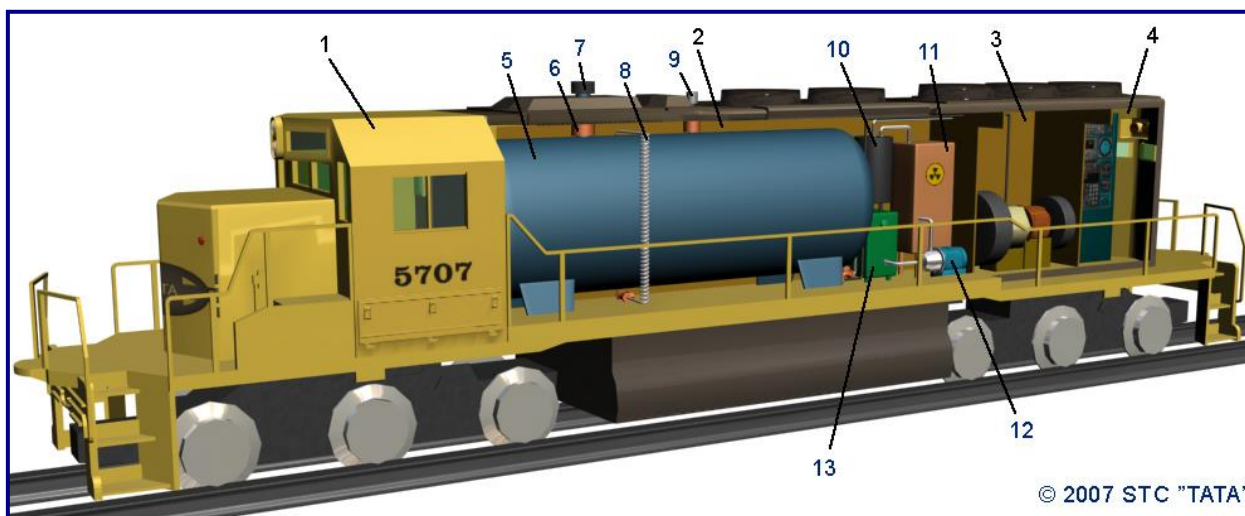


Рис. 23. Устройство криогенного поезда: 1 — кабина машиниста, 2 — отсек хранения и газификации жидкого азота, 3 — турбинный отсек, 4 — отсек щитовой, 5 — криогенный резервуар с жидким азотом, 6 — электроклапан, 7 — патрубок для заправки жидким азотом, 8 — атмосферный испаритель, 9 — предохранительный клапан, 10 — газификатор, 11 — источник радиоизотопов, 12 — насос, 13 — емкость для хранения высокотемпературного теплоносителя (©STC "TATA")

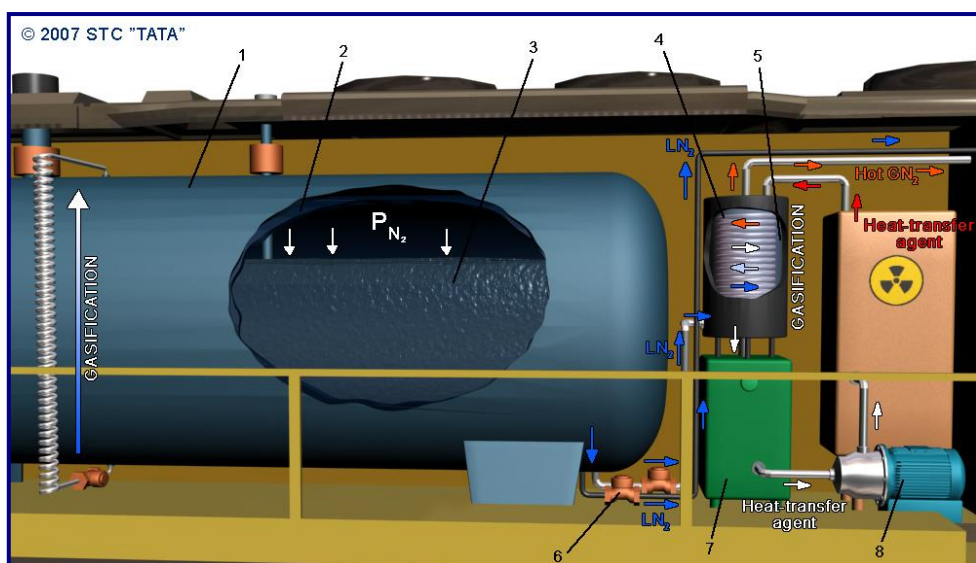
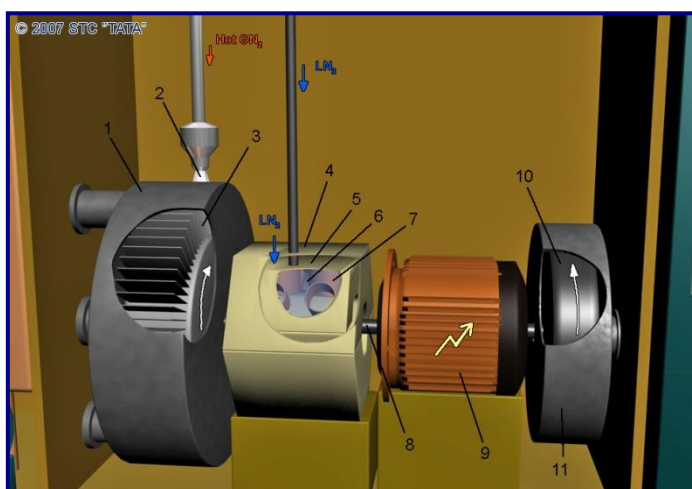


Рис. 24. Устройство отсека хранения и газификации жидкого азота: 1 — внешний кожух криогенного резервуара, 2 — внутренний кожух криогенного резервуара, 3 — жидкий азот, 4 — спираль

теплообменника, 5 — высокотемпературный теплоноситель, 6 — электроуправляемый клапан, 7 — емкость для хранения теплоносителя, 8 — насос (©STC “TATA”)

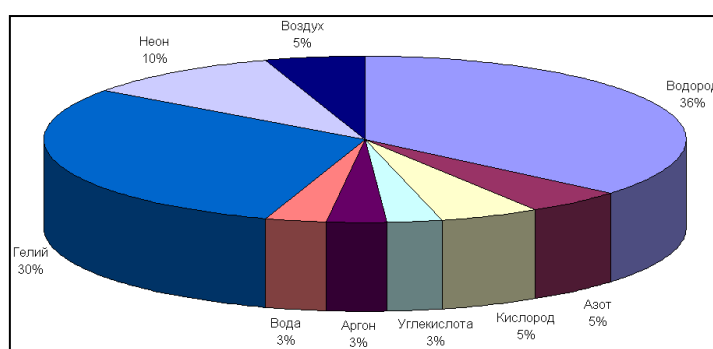


**Рис. 25.** Устройство турбинного отсека: 1 — защитный кожух турбины, 2 — сопловый аппарат, 3 — турбина, 4 — внешний кожух электромагнитного подвеса, 5 — внутренний кожух для хранения жидкого азота, 6 — жидкий азот, 7 — катушки индуктивности электромагнита, 8 — вал, 9 — электрогенератор, 10 — противовес-маховик, 11 — защитный кожух противовеса-маховика (©STC “TATA”)

## 8. ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ БИНАРНОГО ЛЬДА ДЛЯ ЕГО ПОДАЧИ К ПЕРИФЕРИЙНЫМ ОБЛАСТЯМ ЭНДОГЕННОГО ПОЖАРА

*8.1. Эффективное охлаждение теплоаккумулирующих пород и веществ в эпицентре пожара и закупоривание трещиновато-пористого тела надочаговой зоны для воспрепятствования проникновения окислительной среды*

Газифицированный азот имеет низкий коэффициент теплопроводности (Рис.26) и теплоемкости, что затрудняет успешно решать задачу эффективного снижения температуры в периферийной зоне пожара. Поэтому для решения задачи по обеспечению эффективного теплоотвода в периферийной зоне на наш взгляд перспективно применение бинарного льда, функционирующего либо в качестве самостоятельного хладагента, либо при подаче вместе с газифицирующимся азотом (в общем потоке).



**Рис.26** Коэффициент теплопроводности для различных газов, Вт/м К

Таким образом, при газификации криогенного азота в целях утилизации холода предлагается генерировать бинарный лед. Бинарный лед направлять для снижения температуры периферийных зон. Индивидуальный газифицирующийся криогенный азот вдувать в эпицентр пожара.

Бинарный лед предлагается генерировать и в системе, включающей скребки и рефрижератор. Применение бинарного льда позволяет обеспечить концентрированный перенос холода (примерно, в 100 раз больше по сравнению с жидким хладагентом), что обеспечивает минимизацию ввода закачных



трубопроводов в зону эффективного теплоотвода и снижение расходов на подачу хладагента.

Автор имеет опыт создания хладагентов на бинарных льдах и установок бинарного льда, в частности, на фото ниже (Рис. 27) представлена установка генерирования бинарного льда, созданная автором статьи с коллегами для применения в ЦЕРНЕ (Швейцария) на системе ALICE для целей термостатирования.

Возможности применения бинарного льда были хорошо изучены на исследовательской установке.



*Рис.27. Генератор бинарного льда в закольцованном потоке*

Предлагается применение пожарных роботов - дронов, оснащенных газификаторами криогенного азота с эжекционным вводом бинарного льда (Рис.28).



Рис.28. Пожарная робототехника. Пожарные роботы, оснащенные газификаторами криогенного азота с эжекционным вводом бинарного льда

Предлагается применение пожарных роботов, оснащенных системой подачи азота, эжектором и системой подачи суспензии бинарного льда.

В процессе выполнения работы разработаны оптимальные рабочие растворы хладагентов для производства бинарного льда в больших количествах, который подается равномерно через эжектирующие отверстия и вводится в холодный поток газифицированного азота формирователем капель бинарного льда.

На рисунке 29 изображено сопло с отверстиями для осуществления эжекции низкотемпературной суспензии бинарного льда.

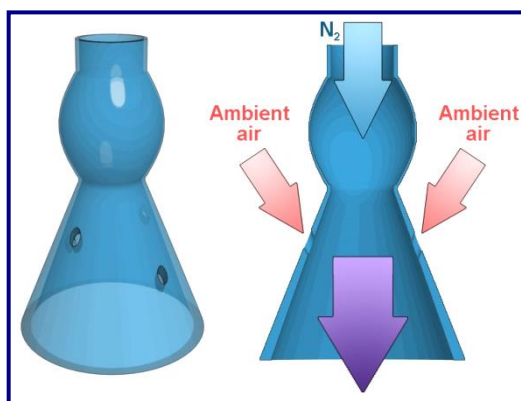


Рис. 29 . Эжектор суспензии бинарного льда или антипожарного порошка

Далее холодный поток азота с равномерно распределенными каплями раствора хладагента в виде бинарного льда направляется в зону эпицентра пожара и в периферийное пространство. Насыщенный пар и жидкость бинарного льда после израсходования запаса холода в процессе теплообмена проникают через поры трещиновато-пористой системы массива породы окружающей эпицентр. Раствор для формирования бинарного льда имеет оптимально высокие теплофизические, кинематические и динамические характеристики.

Для различных систем получены оптимальные растворы хладагентов с заданной плотностью раствора, кг/м<sup>3</sup>; температурой замерзания °С; удельной (массовой) теплоемкостью, кДж/(кг·град); коэффициентом теплопроводности, Вт/(м·град); динамической вязкостью раствора, Па·с; кинематической вязкостью раствора, м<sup>2</sup>/с; коэффициентом температуропроводности, м<sup>2</sup>/с; числом Прандтля. Принцип действия установок азотного пожаротушения снабженных эжектором, системой подачи газообразного азота и системой подачи суспензии бинарного льда заключается в создании в горящем подземном объеме среды с пониженным содержанием кислорода - менее 10%, в такой среде процесс горения становится невозможным, интенсивного охлаждения горящих поверхностей и поверхностей аккумуляции теплоты суспензией бинарного льда.

Газообразный азот, производимый газоразделительным мембранным блоком азотной установки пожаротушения, подается под давлением в ресивер, объем которого рассчитывается исходя из объема помещений и резервуаров, пожаробезопасность которых обеспечивает установка.

Установки азотного пожаротушения не только очень эффективны – способны тушить пожар за небольшое время вне зависимости от удаленности очага возгорания, но также неприхотливы и надежны в эксплуатации. Во многих случаях они представляют собой единственный тип оборудования, применимый для тушения труднодоступных очагов пожара, как, например, в шахтах [ <http://elkomspec.ru/azotnoe--pozharotushenie> ]

Передвижные станции азотного пожаротушения позволяют эффективно бороться с пожарами в шахтах, обеспечивая надежное объемное тушение труднодоступных очагов. Азотные системы позволяют всего за несколько часов создать в аварийном участке шахты инертную атмосферу на основе азота, в которой процесс горения полностью прекращается [ <http://elkomspec.ru/azotnoe--pozharotushenie> ]

Диаграмма - 1. Преимущества новой Концепции тушения крупных эндогенных пожаров



Азот производится установкой из атмосферного воздуха, в результате эксплуатационные затраты оказываются очень незначительными.

#### Недостатки

- Большой объем ресивера, сравнимый с объемом помещения (при нормальных условиях)
- Необходимость герметизации помещения, где произошло возгорание
- Азот может вызвать удушье

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Автор работы выражает искреннюю благодарность организаторам КОНКУРСА НАУЧНЫХ И ДИПЛОМНЫХ РАБОТ "ТЕХНОЛОГИЯ ТУШЕНИЯ ЭНДОГЕННЫХ ПОЖАРОВ" (Редакцией «Научный корреспондент»), которые в большой мере способствовали переосмыслению, систематизации выполненных научных исследований в ходе которых была сформирована Концепция тушения эндогенных пожаров с использованием: генераторов холода, генераторов криогенного азота, компримированного газообразного азота, функционирующих на альтернативных источниках энергии; использовании новейших технологий определения координат ядра пожара на основе газоаналитической аппаратуры и систем ее автоматической подземной доставки; новейших технологий эжектирования бинарного льда в зону самонагрева и самоаккумулирования тепла пожара; новейших технологий пломбирования микротрещин и пористого скелета пломбировочными растворами солей, входящими в состав бинарного льда; новейшими технологиями флегматизации очага горения.

Работа впервые была опубликована в электронном виде на сайте <https://nauchkor.ru/contests/konkurs-nauchnyh-i-diplomnyh-rabot-tehnologiya-tusheniya-endogennyh-pozharov-5bc228797966e105016049c5>

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена Концепция пожаротушения эндогенных суперпожаров с использованием альтернативных источников энергии (АИЭ); больших объемов криогенного жидкого азота (АЗС - автономные азотодобывающие станции), получаемых за счет использования АИЭ и газообразного азота (МТ- мембранная технология); инъекции в газифицированный азотный поток суспензии бинарного льда (вода и соли веществ, повышающие емкость фазового перехода и одновременно закупоривающих скелет кислородподающих трещин, микротрещин, пор в районе очага горения, с использованием низкоуглеродистых замороженных продуктов термоллиза отходов, обладающих высокой теплоемкостью и высокой кинематической вязкостью - пломбировка кислородных транспортных трещин); с использованием высокоточной методики определения контуров и координат очага пожара на основе мониторинга основных идентифицируемых параметров; специальной мобильной и автономной надежной аппаратурой газового анализа; влажности; температуры для постоянной их регистрации и коррекции технологии и рецептуры подаваемой среды, состоящей из холодной инертной, флегматизирующей, пломбирующей кислородные

транспортные каналы субстанции; с использованием подземных самодвижущихся систем («Крот») для прокладки гибких криогенных трубопроводов с износостойким внутренним покрытием; с использованием систем доставки и установки сенсоров газоаналитической аппаратуры к наиболее вероятным подземным пограничным областям очага пожара с целью постоянного контроля габаритов и формы очага горения.

В работе предложены инновационные средства газового контроля подземного эндогенного пожара по концентрации  $O_2$  и  $CO$ , а также методика определения эпицентра пожара и его ядра.

На основе имеющегося у автора положительного инновационного опыта по внедрению предложенного способа пожаротушения газифицирующимся криогенным азотом в сложной ситуации самовозгорания 200 кабелей в крупном кабельном 8-ми километровом канале Космического стартового комплекса «Энергия-Бурана» [3,4,5] предложены пионерские средства пожаротушения.

Кроме того, предложены разработанные автором концепции криогенных пожарных транспортных средства для эксплуатации в карьерных разрезах и хвостохранилищах, в том числе и в аварийных условиях при отсутствии кислорода и наличия больших количеств воды.

В работе впервые предложено производить большие количества криогенного азота непосредственно в районе тушения пожара с использованием мобильных высокопроизводительных средств альтернативной энергетики (ветряная энергогенерирующая башня [12], ветрогенераторы, и т.д.).

Предложено использование мембран (молекулярных сит) для получения газообразного азота в качестве сырья для целевого продукта криогенного азота в процессе при ожижения, что снижает затраты энергии на получение криожидкости азота.

В работе рассматриваются высокоэффективные экологичные средства пожаротушения рудничных эндогенных пожаров, основанные на применении передвижных альтернативных источников энергии, концентраторов энергии, воздуходелительных установок, газгольдеров компримированного азота, ожижителей азота, газификаторов, криогенных разборных трубопроводов, запорной арматуры, сенсорной техники и систем управления.

Серьезную проблему представляют рудничные эндогенные суперпожары на Коркинском разрезе (Россия) и на Сибайском карьере (Россия).

Имеется несколько успешных примеров борьбы с подземными пожарами: в 2004 году удалось потушить пожар в угольной шахте Люхуангоу (около Урумчи, Синьцзян, Китай), горение которого продолжалось с 1874 года.

Поскольку пожары подземные, то их чрезвычайно трудно погасить, что, не в последнюю очередь, связано с трудностью либо невозможностью доступа к очагу горения. Подземные пожары также отличаются еще и тем, что их сложно обнаружить.

Подземные пожары требуют колоссального объема автономных энергоресурсов, экологически чистых флегматизирующих, ингибирующих, охлаждающих и кислородвытесняющих веществ, а также точного определения компонентов реагирующих веществ и конфигурации ядра подземного пожара, полного и точного представления физико-химической картины эндогенного пожара.

Для тушения эндогенного суперпожара достаточно убрать или существенно снизить влияние одного из действующих факторов: а) *снижение доступности критического объема горючего материала;* б) *прекращение поступления воздуха или его вытеснение;* в) *прекращение теплообразования или его эффективный теплоотвод.*

В работе предложены инновационные средства газового контроля подземного эндогенного суперпожара по определению картины распределения влажности, картины распределения температур, карты концентраций  $O_2$  и  $CO$ , а также методика определения эпицентра пожара и контуров его ядра. Результаты замеров температуры наносят на вертикальный разрез участка, соединив точки с одинаковой температурой, определяют эпицентр пожара.

Наиболее надежным и точным методом своевременного обнаружения рудничных пожаров является систематический контроль за изменением локальной влажности, химическим составом рудничного воздуха и воды в сочетании с замерами температуры в выработках.

В связи с тем что при эндогенных суперпожарах поверхности доступа и объем горючего материалы чрезвычайно велики, поступление воздуха и образование избыточного тепла как правило значительны, то потребное количество охлаждающих, флегматизирующих, вытесняющих воздух веществ также значительно. При этом существующая инфраструктура генерации пожаротушающих, охлаждающих и флегматизирующих веществ рассредоточена на большой территории и ее концентрация не достаточна для тушения суперпожара эндогенной этимологии.

На основе имеющегося положительного инновационного опыта по тушению крупного техногенного пожара в крупном кабельном канале предложены высокоэффективные средства пожаротушения на основе газифицирующегося (в 800 раз по объему) криогенного азота, поступающего к очагу горения под заданным давлением.

Предложены разработанные автором концепции криогенных пожарных транспортных средств для эксплуатации в карьерных разрезах и хвостохранилищах в условиях отсутствия кислорода и наличия большого количества воды.

Впервые предложено производить большое количество криогенного азота непосредственно в районе тушения пожара с использованием мобильных высокопроизводительных и экологически чистых энергосредств альтернативной энергетики (ветряная энергогенерирующая башня [12], передвижные ветрогенераторы, автономные солнечные электростанции т.д.). Предложено использование разделителей воздуха с выделением целевого продукта – азота на основе мембран (молекулярных сит), вихревых устройств. Получение больших количеств газообразного азота в районе экокатастрофы необходимо для вытеснения воздуха. Кроме того, получение больших количеств газообразного азота необходимо для его использования в качестве сырья для целевого продукта криогенного азота в процессе ожижения. Это снижает энергетические затраты на получение криожидкости азота.

Таким образом, в работе рассматривается как применение газифицирующейся криожидкости, так и газообразного азота.

В результате выполнения работы предложена эффективная апробированная крупномасштабная технология азотного пожаротушения (криожидкость + газифицирующийся азот + газообразный азот + эжектор + суспензия бинарного льда) и/или (газообразный азот + суспензия бинарного льда).

Предложены экологически чистые комплексы генерации значительного количества энергии и криожидкости азота для их потребления на месте тушения пожара на основе использования альтернативных источников энергии, размещенных в зоне суперпожара эндогенной этимологии.

Предложены концептуальные схемы пожарных криотранспортных средств различного класса (легковые и грузовые, локомотивы) [9] для применения их в хвостохранилищах в условиях эндогенных суперпожаров и на запретных близлежащих территориях.

Главное в работе - идея по использованию альтернативных источников энергии на месте тушения, газификация азота с эжекцией (подсосом) *холодной суспензии бинарного льда* (теплоемкость бинарного льда, примерно в 100 раз больше чем у жидкости), строгая система мониторинга ядра пожара с использованием подземных индикаторов: датчиков температуры, датчиков концентрации кислорода, СО, водорода и наземных индикаторов влажности и задымленности. Кроме того, важным являются средства доставки криоазота, а также безопасный транспорт для работы в зоне отчуждения и в хвостохранилищах.

Работа по тушению больших пожаров, которые горят несколько столетий или тысячелетий потребует особого подхода, один из вариантов которого мы здесь и представляем. Он связан с созданием инфраструктуры тушения эндогенных суперпожаров, рассчитанной на много лет непрерывной работы. После того, как данная технология и инфраструктура будут созданы и апробированы они могут быть очень востребованы в странах, которые не могут десятилетиями справиться с эндогенными пожарами. Таким образом, новая Концепция, инфраструктура (устройства и технологии) могут быть прообразом экологически чистой, экономически оправданной, быстровозводимой, рентабельной системы пожаротушения эндогенных суперпожаров.

Научная новизна. Впервые предложена технология, позволяющая использовать физическую и химическую эксергию окружающей среды для генерации охлаждающих и флегматизирующих пожаротушающих веществ, электрической энергии, унитарного криотоплива для пожарных дронов, осуществления новейших технологий пожаротушения. Впервые предложены новые устройства и комплексы пожаротушения на их основе.

Экономический эффект. Новый хладагент на основе бинарного льда из раствора солей и веществ пломбирующих каналы подвода окислительной среды, а также технологии подвода хладагента для снижения температуры природного аккумулятора тепла очага горения обеспечивают снижение времени охлаждения теплоаккумулирующих пород очага возгорания, снижение потребных количеств хладагента за счет применения бинарного льда (в 70-100 раз), уменьшение на порядок потребного условного диаметра прокачивающих трубопроводов для подачи суспензии хладагента, снижение потребной мощности систем прокачки хладагента на порядок.

Результатом реализации инициативного проекта может быть государственная или коммерческая система пожаротушения эндогенных суперпожаров (СПНЭС), данная система будет очень востребована в энергетической и экологической дипломатии.

### **ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ**

- [1] Гусев А.Л. и др. Столетний меморандум от 13 ноября 2006 года Главам Большой восьмерки//Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2007. № 3. С. 11.
- [2] Гусев А.Л. Основные экологические проблемы Нижегородской области и пути перехода к водородной экономике//Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2006. № 1. С. 13-24.
- [3] А.Л. Гусев. Тушение пожара на крупном водородном объекте.//Международный научный журнал “Альтернативная энергетика и экология, 2005, №9, С. 67 – 71.



- [4] А.Л. Гусев. Системы пожаротушения на базе криогенного азота для крупных техногенных комплексов. Сборник тезисов отраслевого семинара «Пассивные системы и водородная безопасность АЭС». Обнинск, 28-29 апреля 2004 года, стр. 11, 2004.
- [5] Гусев А.Л., Чабан П.А., Кондырина Т.Н. Криогенная азотная установка для тушения пожара в замкнутых объектах. Патент на изобретение RUS 2311937 10.10.2005
- [6] [https://www.znak.com/2018-02-12/chto\\_proishodit\\_na\\_korkinskom\\_razreze\\_posle\\_ostanovki\\_dobychi\\_uglya\\_i\\_kto\\_tushit\\_pozhary](https://www.znak.com/2018-02-12/chto_proishodit_na_korkinskom_razreze_posle_ostanovki_dobychi_uglya_i_kto_tushit_pozhary)
- [7] Гусев А.Л., Чабан П.А., Кондырина Т.Н. Установка для очистки воздуха. Патент на изобретение RUS 2406169 17.11.2008.
- [8] A. L. Gusev. Cleaning system for corrosive gases and hydrogen, Chemical and Petroleum Engineering, 2009, 640, DOI: 10.1007/s10556-010-9251-7. Chemical and Petroleum Engineering 10/2009; 45(9-10):640.
- [9] A.L. Gusev. DEVELOPMENT AND MAKING OF A HYBRID NITROGEN-HYDROGEN VEHICLE.//Alternative Energy and Ecology (ISJAE), #4, 2008, pp.105-110.
- [10] Alexander L. Gusev. Patent RF # 2022202. Cryogenic tank.. Ref. No: 2022202, Year: 04/1991
- [11] A.L. Gusev, M.A. Kazaryan. MANUFACTURE NANO-COMPOSITES MEMBRANES FOR CLEARING CHLORINE.//Alternative Energy and Ecology, 2007, #4, pp.200-201.
- [12] Лютин В.Д., Лютин П.Д., Шумилов А.А., Гусев А.Л., Немышев В.И., Мартынова А.Ю. Ветровая электростанция. Патент на полезную модель RUS 92484 04.12.2009.
- [13] А.Л. Гусев. Отчет о НИР пол проекту МНТЦ №3658Р. НТЦ «ТАТА» - Компания «Ниссан Мотор». Выбор и аналитические исследования концептуальных схем гибридного азотно-водородного легкового автомобиля V(LN<sub>2</sub>-GH<sub>2</sub>) в сравнении с прототипом FCV на топливных элементах. Апрель 2007 года.
- [14] Brodny, J. and M. Tutak (2016a). Analysis of gases emitted into the atmosphere during an endogenous fire. In Proceedings of SGEM 2016, 75-82
- [15] Пономаренко А.Т., Рывкина Н.Г., Травкин В.С., Чмутин И.А., Гусев А.Л., Шевченко В.Г. Электрофизические свойства пористых твердых тел: структура, моделирование и экспериментальные данные. ISJAE # 3,2002
- [16] А.Л. Гусев, А.А. Боброва, М.А. Казарян. Физико-химические аспекты применения углеродных и пористых стеклянных мембран с модифицированной поверхностью для селекции кислорода и водорода из газовой смеси, содержащей хлор. Сборник материалов XII Международной Научной Конференции «Физико-химические процессы при селекции атомов и молекул в лазерных, плазменных и нанотехнологиях», посвященная 100-летию со дня рождения академика И.К. Кикоина. Под ред. В.Е. Черковца. 31 марта- 4 апреля 2008 года. Звенигород. М. ЦНИИАТОМИНФОРМ, г. Троицк, ГИЦ РФ ТРИНИТИ, 2008. 110 стр., с. 64.
- [17] A.L. Gusev, M.A. Kazaryan. Nano-composites for Hydrogen Membranes and Fuel Cells. BayerMaterialScience (BMS)&The International Science and Technology Center (ISTC). Research Conference, Moscow, Russia, 23-24 January 2007. 22-23
- [18] A.L. Gusev, M.A. Kazaryan. Manufacture Nano - composites Membranes for clearing Chlorine. // Альтернативная энергетика и экология - ISJAE, № 4. 2007.
- [19] A.L. Gusev. Electrosorption phenomena in layers of shield-vacuum heat insulation of hydrogen reservoirs. // Альтернативная энергетика и экология - ISJAE, № 4. 2007.
- [20] А.Л. Гусев. Теоретические основы суперизоляции: аварийные режимы суперизоляции криостатов. I. Эффузионно индуцированная водородная и теплопроводная неустойчивость.//Альтернативная энергетика и экология, №4, 2002.
- [21] A.L. Gusev, M.D. Hampton, I.V. Zolotuchin, J.E. Kalinin, A.T. Ponomarenko, V.S. Travkin, T.N. Veziroglu. SUPERINSULATION: NEW EFFECTS, STRUCTURES, Design PRINCIPLES. Extended Abstracts of the «Eurofillers' 01» Conference juli 9-12, 2001, Lodz (Poland) Technical University of Lodz., C-10, pp.102/C-10/1 – 103/C-10/2.
- [22] Гусев А.Л. Аварийные режимы функционирования суперизоляции водородных криостатов.//Альтернативная энергетика и экология, Спецвыпуск, 2003, 49-50, стр., 172 с.
- [23] Гусев А.Л., Куприянов В.И., Кряковкин В.П., Терехов А.С. Натурные испытания химического поглотителя на основе диоксида марганца палладирированного в крупнообъемных криовакуумных объектах. Сборник научных трудов Всесоюзной конференции по Средствам выведения и транспортно-технологическому оборудованию (СВ и ТТО). НИИ-50. Болшево, 1990.
- [24] Гусев А.Л. Аномалии остаточного давления в суперизоляции при аварийных режимах эксплуатации криогенных объектов.// Международный научный журнал “Альтернативная энергетика и экология”, выпуск 1, стр.55-75, 2000.

- [25] Гусев А.Л. Теоретические основы суперизоляции: аварийные режимы суперизоляции криостатов. Эффузионно индуцированная водородная и теплопроводная неустойчивость. // Международный научный журнал “Альтернативная энергетика и экология”, 2002, № 4, стр. 28 -39.
- [26] В.А. Гольцов, Т.Н. Везироглу, Л.Ф. Гольцова, А.Л. Гусев. Современное состояние водородной экономики и водородного транспорта: экономика, техника, инфраструктура. // Альтернативная энергетика и экология, Спецвыпуск, 2003, 21-22 стр., 172 с.
- [27] А.Л. Гусев. Аварийные режимы суперизоляции криостатов: эффузионноиндуцированная водородная и теплопроводная неустойчивости теплоизоляции. // Доклад на 10-ой Международной конференции по вакуумной технике “Состояние и перспективы развития вакуумной техники» «Вакуум-2001», май 2001 года, стр. 227-228, Казань
- [28] А.Л. Гусев. Прогнозирование водородной деградации стенок крупного криогенного термоциклирующего резервуара с экранно-вакуумной теплоизоляцией и предупреждение его разрушения // Вторая международная конференция «ВОМ-98»: тез. докл. – Донецк, 1998.- с.179
- [29] Гусев А.Л. Оценка возможности практической реализации низкотемпературной регенерации встроенных криоадсорбционных устройств в теплоизоляционной полости водородного криогенного резервуара с вытеснительной подачей криогенной жидкости // Вторая международная конференция «ВОМ-98»: тез. докл. – Донецк, 1998.- с.180
- [30] Патент РФ № 2109261. Способ дефектоскопии криогенного сосуда./ Авт. изобрет. Гусев А.Л., Гаркуша А.П., Куприянов В.И., Кряковкин В.П. и др. - Заявл. 12.03.96., №96103913/28, опубл. в Б.И. № 11, 1998, МКИ G01M13.00, F17C
- [31] Гусев А.Л. и др. Технический отчет по заказу Миннауки РФ по Государственной программе «Большой андронный коллайдер» заказ 18040 тема 37874 «Разработка спектрометра фотонов PHOS для эксперимента ALICE». Учетный номер №4/9357, 1999 год
- [32] Гусев А.Л. Технический отчет по заказу Миннауки РФ по Государственной программе “Большой андронный коллайдер” заказ 18040 тема 37874 и договору между ВНИИЭФ и НПП “ВНИИЭФ-УФЛ” №02-НП/98/321к от 01.09.98 г. в соответствии с Техническим Заданием (Приложение №1 к договору) №02-НП/98/321к от 01.09.98.) Расчет и оптимизация конструкции системы охлаждения макета единичного модуля детектора PHOS по программе ALICE. Учетный номер №4В/197, 1999 год, 99 стр.
- [33] Патент РФ №2109261. Способ дефектоскопии криогенного сосуда. Гусев А.Л., Гаркуша А.П., Куприянов В.И., Кряковкин В.П., Шванке Д.В.- Заявл. 27.02.96., № 96103913/28, опубл. 20.04.98., БИ №11, 1998, МКИ G01M3/28
- [34] Гусев А.Л. Прогнозирование водородной деградации стенок крупного криогенного термоциклирующего резервуара с экранно-вакуумной теплоизоляцией и предупреждение его разрушения. В кн.: Сборник информационных материалов Второй Международной конференции «ВОМ-98», под рук. Гольцова В.А., ДонГТУ, Донецк, 2-4 июня 1998 г. –235 с., стр. 179
- [35] Гусев А.Л. Оценка возможности практической реализации низкотемпературной регенерации встроенных криоадсорбционных устройств в теплоизоляционной полости криогенного резервуара с вытеснительной подачей криогенной жидкости. В кн.: Сборник информационных материалов Второй Международной конференции «ВОМ-98» под рук. Проф. Гольцова В.А., ДонГТУ, Донецк, 2-4 июня 1998.-225 с., стр. 180
- [36] А.Л. Гусев. Прецизионные регулируемые вакуумные натекатели микропотоков газов и паров для контроля герметичности энергетических объектов (краткий обзор). //Альтернативная энергетика и экология, №1, 2002, стр. 30 - 48.; Гусев А.Л. Прецизионные регулируемые натекатели (Краткий обзор)// Доклад на 10-ой Международной конференции по вакуумной технике “Состояние и перспективы развития вакуумной техники» «Вакуум-2001», май 2001 года, стр. 227-228, Казань.
- [37] А.Л. Гусев. Влияние механизма «газовой промывки» на адсорбционную емкость крионасосов крупных водородных систем //Альтернативная энергетика и экология, Спецвыпуск, 2003, 43-44 стр., 172 с.
- [38] А.Л. Гусев. Патент РФ №2249796. Способ измерения уровня криогенной жидкости в сосуде и уровнемер для криогенных жидкостей. Заявл. 10.11.2003, №2003132765, опубл. БИ №10, 2005, МКИ G01F23/28,23/296
- [39] Патент РФ № 2022196. Криогенный трубопровод./Авт. изобрет. Гусев А.Л., Телешевский В.С. - Заявл. 10.10.90., № 4870140/29 - 98650; опубл. в Б.И. №20, 1994, МКИ F16L9/18.
- [40] Патент РФ № 1742568. Криогенный трубопровод./Авт. изобрет. Гусев А.Л., Кудрявцев И.И. - Заявл. 26.03.90., № 4842221/29 - 033446; опубл. в Б.И. № 23, 1992, МКИ F16L9/18.

- [41] Патент РФ № 1647319. Устройство для регулирования потока контрольного газа./ Авт. изобрет. Гу-сев А.Л., Кудрявцев И.И. - Заявл. 06.12.88., № 4615269/25-28 - 167002; опубл. в Б.И. №17, 1991, МКИ G01M3/04.
- [42] Патент РФ № 1772644. Устройство для регулирования потока контрольного газа./Авт. Гусев А.Л., Кудрявцев И.И., Цветков А.Е. - Заявл. 15.10.90., №4873969/28-102188; опубл. в Б.И. №40, 1992, МКИ G01M3/04.
- [43] Гусев А.Л. Щуп-натекатель течеискателя // Техника и вооружение.- МО СССР. 1989. - №1, с. 37.
- [44] А.Л. Гусев, Е.В. Куделькина, М.Д. Хэмптон, Т.Н. Везироглу. Электросорбционные явления в слоях экранно-вакуумной теплоизоляции водородных резервуаров при аварийных режимах эксплуатации. Труды Conference EuroSun 2004 and 14th International ForumSun (14.Internationales Sonnenforum of DGS e. V.) – June 20-23, 2004 (Freiburg, Germany) and Intersolar 2004, June 24-26, 2004 (Freiburg, Germany). Германия, pp. 2-567 – 2-586, 2004
- [45] Гусев А.Л. «Квазиконденсаторный» эффект в криогенно-вакуумных объектах с экранно-вакуумной теплоизоляцией (ЭВТИ). // Вопросы атомной науки и техники. Серия (вакуум, чистые материалы, сверхпроводники). Вып. [4(5), 5(6)]. – 1998. С. 129.
- [46] Патент РФ № 2024814. Устройство для термостатирования объекта./ Авт. изобрет. Гусев А.Л., Кудрявцев И.И. - Заявл. 8.07.91., № 5017152/06-60188; опубл. в Б.И. № 23,1994, F28D15/02.
- [47] Патент РФ № 2082911. Криогенный резервуар./Авт. изобрет. Гусев А.Л., Кудрявцев И.И., Кряковкин В.П., Куприянов В.И., Терехов А.С.- Заявл. 13.11.91., №05009089/25-075697, опубл. В Б.И. , №18,1997, МКИ F17C3/08.
- [48] Патент РФ №2052158. Способ работы вакуумного криоадсорбционного устройства в теплоизо-ляционной полости криогенного резервуара. Гусев А.Л., Исаев А.В., Куприянов В.И., Макаров А.А., Терехов А.С.- заявл. 13.11.91., №5009136/06, опубл. БИ №1, 1996, МКИ F04B37/02
- [49] Патент РФ № 2082911. Криогенный резервуар./Авт. изобрет. Гусев А.Л., Кудрявцев И.И., Кряковкин В.П., Куприянов В.И., Терехов А.С.- Заявл. 13.11.91., №05009089/25-075697, опубл. В Б.И. , №18,1997, МКИ F17C3/08
- [50] Патент РФ № 2052158. Способ работы вакуумного криоадсорбционного устройства в теплоизо-ляционной полости криогенного резервуара./ Гусев А.Л., Исаев А.В., Куприянов В.И., Макаров А.С., Терехов А.С. - Заявл. 13.11.91., № 5009136/29 - 075725; опубл. в Б.И. №11,1996, МКИ F04B37/02.
- [51] Патент РФ №2113871. Способ предупреждения пожара в замкнутых емкостях и трубопроводах и криогенный трубопровод. Гусев А.Л., Белоусов В.М., Куприянов В.И., Кудрявцев И.И., Кряков-кин В.П., Ляшенко Л.В., Бочарикова И.В., Рожкова Э.В., Высоцкий А.Ф., Шванке Д.В. – Заявл. 4.01.96., №96100184/12, опубл. в БИ №18, МКИ A62C2/00,3/00.
- [52] А.Л. Гусев, Е.В. Куделькина, П.А. Чабан, А.В. Ивкин. Сенсоры водорода. Сборник тезисов отраслевого семинара «Пассивные системы и водородная безопасность АЭС». Обнинск, 28-29 апреля 2004 года, стр. 15, 2004
- [53] Патент РФ № 2103598. Криогенный трубопровод./ Гусев А.Л., Кудрявцев И.И., Турундаев А.Р. - Заявл. 18.12.95., 95120543/06, опубл. в Б.И. № 3, 1998, МКИ F17D5/00, F16L59/06.
- [54] Патент РФ № 2027942. Способ поддержания вакуума в теплоизоляционной полости трубопро-вода типа “труба в трубе”./ Гусев А.Л., Куприянов В.И. - Заявл. 8.07.91., № 5018602/05-061195; опубл. в Б.И. № 3, 1995, МКИ F16L59/00.
- [55] Патент РФ №2082910. Криогенный резервуар и способ активации химического поглотителя перед размещением его в теплоизоляционной полости криогенного резервуара. Гусев А.Л., Кудрявцев И.И., Куприянов В.И., Кряковкин В.П., Терехов А.С. –заявл. 13.11.91., №5009266/26, опубл. БИ №18, 1997, МКИ F17C3/00, 13/00.
- [56] Патент РФ №2022204. Криогенный резервуар и способ удаления водорода из его вакуумной по-лости. Гусев А.Л., Кудрявцев И.И., Кряковкин В.П., Куприянов В.И, Терехов А.С. – Заявл. 24.06.91., №4954398/26, опубл. БИ №20, 1994, МКИ F17C3/08