

# Запобігання та ліквідація надзвичайних ситуацій

УДК 621.484, 621.59

Н.И. Адаменко, И.Н. Кудрявцев

Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Харьков

## РАЗРАБОТКА ЭКОЛОГИЧНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ КРИОГЕННОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ СО СНИЖЕННЫМ УРОВНЕМ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Рассмотрена возможность применения криогенной силовой установки на жидком азоте, процессы в которой происходят при температурах окружающей среды или более низких, на военных транспортных средствах с низким уровнем теплового излучения. В результате специальная техника становится невидимой в инфракрасном (ИК) диапазоне длин волн. Это делает ее машиной-невидимкой в условиях современных военных операций, происходящих в ночное время и на расстояниях, недоступных для визуально-оптического наблюдения. Предложена конструкция легкого разведывательного транспортного средства с криогенной силовой установкой.

**Ключевые слова:** криогенная техника, транспортная силовая установка, жидкий азот, тепловое излучение.

### Введение

**Актуальность.** Как известно, многие системы наведения разных типов вооружений работают по тепловому излучению или тепловому следу объекта. Снизить тепловое излучение от работающих двигателей внутреннего сгорания, как и от реактивных двигателей, в которых сгорает углеводородное топливо, представляется весьма проблематичным. Высокие рабочие температуры камер сгорания делают эти объекты крайне уязвимыми для систем слежения и наведения, в том числе и в условиях низкой освещенности. Инфракрасные системы оптического наблюдения и наведения показали свою высокую эффективность даже в ночных условиях.

Поэтому исследования в области криогенных транспортных силовых установок на жидком азоте, которые работают при температурах не выше температуры окружающей среды, представляются весьма актуальными для маскировки специальных транспортных средств, в том числе военного назначения, в инфракрасном диапазоне длин волн.

**Постановка проблемы.** Целью настоящей работы является изучение возможности разработки специальных транспортных средств с применением криогенных силовых установок на жидком азоте, которые облают низким уровнем теплового излучения. Данные технологии могут стать недорогой и эффективной альтернативой электрическим автомобилям специального назначения.

**Предыдущие исследования и обзор литературы.** Успехи в разработке и испытаниях первых

автономных криогенных силовых установок на жидком азоте привели к появлению ряда интересных приложений в области транспортных технологий [1 – 6].

Как известно, криогенная силовая установка включает в себя термоизолированный криогенный бак с газификатором (испарителем) жидкого азота, воздушный или водяной теплообменник и пневматический двигатель (см. рис. 1) [7, 8].

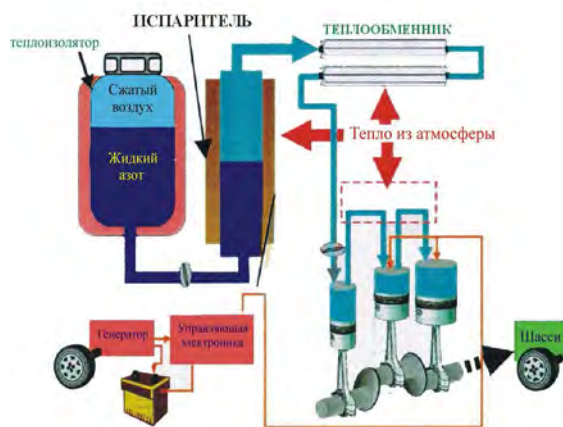


Рис. 1. Схема работы транспортной криогенной силовой установки

Вся работа данной силовой установки осуществляется при температурах не выше температуры окружающей среды, что делает практически невозможным обнаружение ее средствами теплового (инфракрасного) слежения и соответствующего наведения средств подавления. Кроме того, транспортная

криогенная силовая установка имеет низкий фон электромагнитного излучения и может иметь значительно меньший вес для применения на небольших расстояниях по сравнению с электрическими силовыми установками.

Первые экспериментальные транспортные средства с криогенной силовой установкой были разработаны в США (университет Северного Техаса и Вашингтонский университет) и на Украине, группой специалистов в г. Харькове (см. рис. 2, 3), и показали возможность и перспективность подобных разработок как в области гражданского транспорта, так и в области специальных и военных транспортных приложений. В частности, применение пожаробезопасных и низкотемпературных криогенных автомобилей на жидком азоте может быть востребовано на аэродромах и космодромах, в специальных складских помещениях, в условиях повышенной огнеопасности [9 – 11]. Кроме того, жидкий азот является прекрасным средством пожаротушения, и резервуары с жидким азотом для транспортной техники могут выступать одновременно и средством эффективного пожаротушения на специальных и военных объектах.



Рис. 2. Криогенный автомобиль, разработанный в университете Северного Техаса



Рис. 3. Криогенный автомобиль, разработанный исследовательской группой в г. Харькове

Необходимо отметить, что впервые возможность применения криогенных транспортных силовых установок с целью снижения уровня теплового излучения была рассмотрена авторами в работе [12].

**Постановка научной задачи.** Отметим, что характерной особенностью современных и тем более будущих военных операций с участием бронетанковой техники является их проведение в ночное время. Побеждает тот, кто лучше «видит» в темноте и кто лучше умеет маскировать или снижать свое тепловое излучение. Мы не касаемся здесь возможностей маскировки металлических объектов в радиодиапазоне против обнаружения их радиолокаторами. Известная технология типа «Стелс» уже успешно решила вопросы о такой маскировке. Поэтому главным остающимся демаскирующим фактором можно считать ИК-излучение.

Как известно, основным источником мощного ИК-излучения боевых машин в диапазоне длин волн 7–12 мкм является двигатель внутреннего сгорания (ДВС). Следовательно, для ИК маскировки необходимо заменить этот вид двигателя на иной, с температурой, близкой к температуре окружающей среды.

### Решение задачи

В настоящее время реально существуют три варианта подобных силовых установок со сниженным уровнем теплового излучения:

- воздушно-пневматическая с запасом сжатого воздуха высокого давления (200–300 атм) в легких и высокопрочных углепластиковых баллонах [см., напр., 13 – 15];
- криогенная на жидком азоте;
- традиционная электрическая с электромотором, питаемым от бортовых электрохимических аккумуляторов.

Наиболее перспективными, на наш взгляд, являются первые две. Это связано с тем, что электромотор большой мощности, около 100 кВт, питаемый от аккумуляторов, требует громадного количества аккумуляторных батарей общим весом около тонны даже при ограниченном (порядка 50 км) пробеге тяжелого (10–20 т) транспортного средства с умеренной скоростью (30–40 км/час). К тому же стоимость таких аккумуляторов составляет несколько тысяч долларов, а обновлять их приходится каждый год. В отличие от этого пневмооборудование и криогенные устройства существенно дешевле в производстве и гораздо более долговечны.

На рис. 4, 5 представлены результаты выполненных авторами экспериментов по фотографированию ИК-тепловизором силовых установок традиционного автомобиля с ДВС (Ford) и криогенного автомобиля на жидком азоте в университете Северного Техаса, США.

Как видно из сравнения силовых установок на рис. 4 и 5, имеется существенная разница в фиксации теплового (инфракрасного) излучения от транспортных средств с ДВС и криогенной силовой установкой средствами ИК-наблюдения.

Рассмотрим далее подробнее «холодные» криогенные и пневматические силовые установки.

Воздушно-пневматические силовые установки совсем недавно нашли применение в современных экологически чистых автомобилях небольшой массы (до 1 т). При максимальной скорости до 60 км/час они могут иметь дальность пробега до 100 км от од-

ной заправки сжатым воздухом объемом 300–400 л. Мощность пневматического двигателя может достигать 25 кВт, а масса составлять от 40 до 70 кг.

Следующая, криогенная силовая установка содержит теплоизолированный бак с жидким и негорючим азотом, находящимся при температуре –196 °С (обычно 100–200 л). Эта жидкость газифицируется в специальном теплообменнике, тепло к которому подводится из окружающей среды в температурном диапазоне окружающего воздуха от –30 °С до +40 °С.

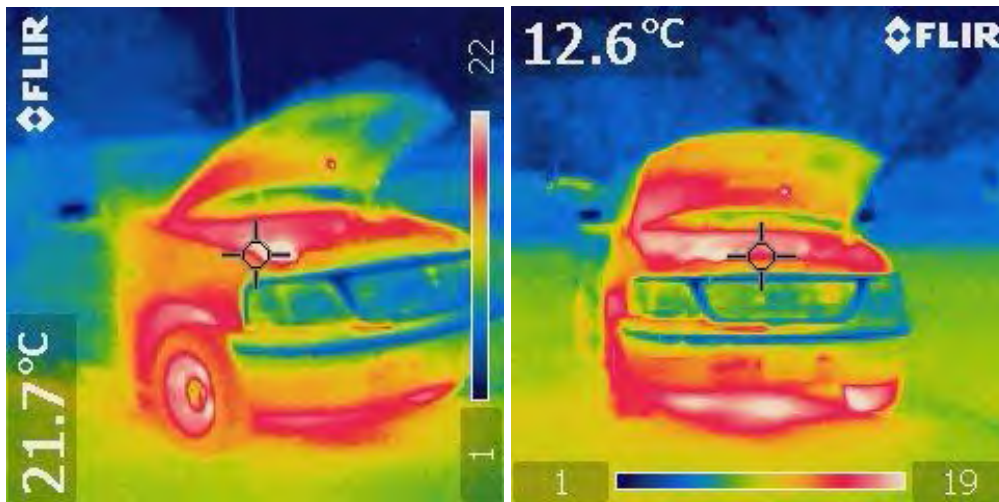


Рис. 4. Тепловое излучение от автомобиля Ford с работающим ДВС (снимки выполнены с применением тепловизора BCAM производства FLIR-Systems в длинах волн 7,5–13 мкм)

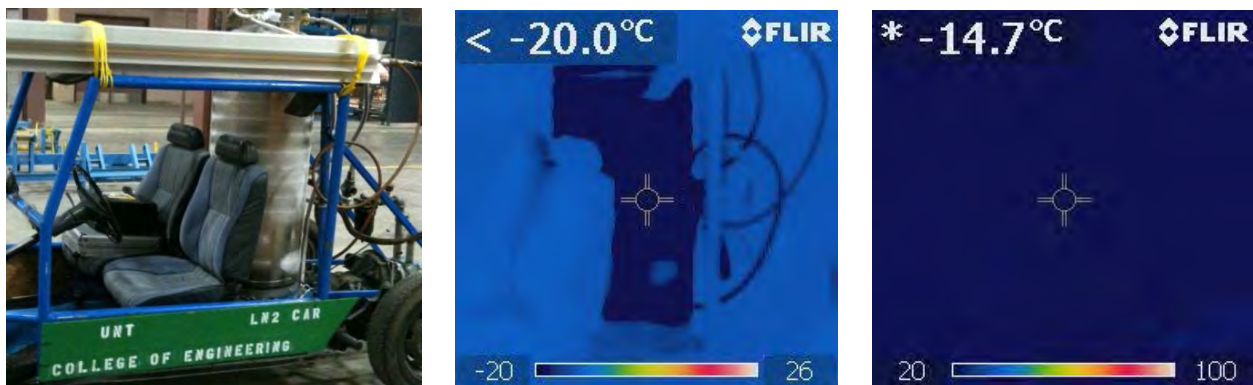


Рис. 5. Тепловые фото работающего криогенного автомобиля с жидким азотом на борту: слева – фотография в видимом спектре для сравнения, по центру – фотография, выполненная тепловизором BCAM FLIR-Systems с автоматической шкалой, справа – фотография, выполненная с тепловой шкалой, применяемой в системах наведения

Все процессы в указанных силовых установках происходят при температурах не выше температуры окружающей среды. В результате, такая силовая установка, а вместе с ней и боевая машина неотличимы по излучательным параметрам от окружающего природного фона и не могут быть обнаружены современными ИК приборами ночного видения. Заметим, что в криогенной силовой установке может быть достигнут втрое больший запас хода (или при том же

запасе хода втрое большая мощность), чем в воздушно-пневматическом типе «холодной» силовой установки (если объем криобака с жидким азотом и объем баллонов со сжатым воздухом одинаковы). Кроме того, в криогенном типе «холодной» силовой установки становится возможным применение высокоэффективных сверхпроводящих моторов большой мощности, габариты которых в 3–4 раза меньше, чем у традиционных «теплых» электромоторов [16].



Немаловажним достоинством криогенных силовых установок, например, для бронетанковой техники является также их абсолютная пожаробезопасность, что существенно повышает выживаемость техники в боевых условиях.

Дополнительными преимуществами «холодных» силовых установок являются также деше-

визна их производства, высокая надежность и абсолютная экологическая чистота. На рис. 6 представлена схема легкого разведывательного транспортного средства с криогенной силовой установкой на борту, которое может быть в сжатые сроки собрано и приведено в рабочее состояние в полевых условиях.

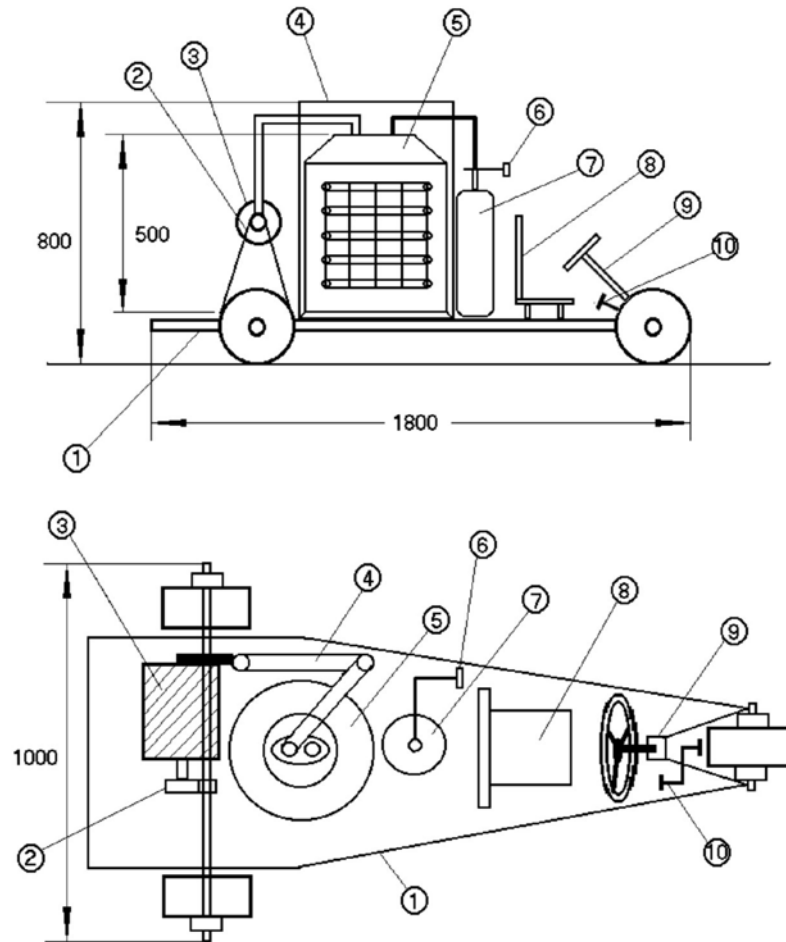


Рис. 6. Схема легкого разведывательного транспортного средства с криогенной силовой установкой на борту:

- 1 – рама с колесами; 2 – трансмиссия (ременная); 3 – пневмодвигатель; 4 – воздушный теплообменник; 5 – азотный бак-газификатор; 6 – регулятор давления газа над жидким азотом; 7 – баллон со сжатым азотом; 8 – кресло водителя; 9 – рулевое устройство на переднее колесо; 10 – тормоз

Массогабаритные характеристики транспортного средства следующие:

- масса: до 250 кг;
- мощность двигателя: 3–5 кВт;
- емкость азотного бака-газификатора: 100 л;
- давление в баллоне со сжатым азотом: 10 – 15 атм;
- время пробега транспортного средства: до 30 мин при скорости до 36 км/ч;
- дальность пробега: до 18 км.

Данные технические характеристики получены на основании комплекса расчетных и экспериментальных исследований модели криогенного автомобиля, разработанного и успешно испытанного исследовательской группой в г. Харькове [5, 6].

## Выводы

В работе выполнено исследование возможности применения криогенной транспортной силовой установки на жидком азоте с целью снижения теплового излучения и эффективной маскировки в инфракрасной области оптического спектра. Выполнены экспериментальные исследования уровня теплового излучения традиционной силовой установки с ДВС и криогенной на жидком азоте. Предложена конструкция легкого разведывательного транспортного средства с криогенной силовой установкой. Таким образом, разработка криогенных силовых установок на жидком азоте является достаточно перспективным направлением развития как гражд-

данских, так и военных транспортных технологий, направленных на снижение токсических выбросов, уменьшение теплового излучения и повышения выживаемости личного состава.

### Список литературы

1. Cryogenic heat engine experiment / M.C. Plummer, C.P. Koehler, D.R. Flanders et al. // Proc. of 1997 Cryogenic Engineering Conference, Portland, July 1997, USA.
2. Ordonez C.A. Cold Thermal Storage and Cryogenic Heat Engines for Energy Storage Applications / C.A. Ordonez, M.C. Plummer // Energy Sources. – 1997. – V. 19. – P. 389-396.
3. Plummer M.C. A Review of Liquid Nitrogen Propelled Vehicle Programs in the United States of America / M.C. Plummer, C. Ordonez, R.F. Reidy // Вестник ХГАДТУ: Сб. науч. трудов. – X., 2000. – Вып. 12-13. – С. 47-52.
4. Knowlen C. Quasi-Isothermal Expansion Engines for Liquid Nitrogen Automotive Propulsion / C. Knowlen, J. Williams, A.T. Mattick // SAE FTT Conference. – San Diego (CA), Aug. 6-8, 1997. – P. 972.
5. Разработка криогенной силовой установки для экологически чистого автомобиля / С.И. Бондаренко, И.Н. Кудрявцев, А.Я. Левин, Н.М. Левченко, Б.Н. Муринец-Маркевич, А.И. Пятак // Вопросы атомной науки и техники. Серия «Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники» (14): Научно-технический сборник. – X., 2004. – № 6. – С. 152-157.
6. Разработка первой на Украине демонстрационной модели экологически чистого автомобиля с криогенной силовой установкой / А.Н. Туренко, В.А. Богомолов, С.И. Бондаренко, И.Н. Кудрявцев, А.И. Пятак, В.И. Клименко, А.Я. Левин, Н.М. Левченко, Б.Н. Муринец-Маркевич, А.В. Крамской, А.В. Архипов, И.В. Лукашов, И.Н. Канищев, А. Клунный // Альтернативная энергетика и экология. – 2005. – № 4(24). – С. 93-98.
7. Патент Украины N 22721A. Двигательная установка транспортного средства / Бондаренко С.И., Фенченко В.Н., 1997.
8. Экологически чистый криогенный транспорт: современное состояние проблемы / А.Н. Туренко, А.И. Пятак, И.Н. Кудрявцев и др. // Вестник ХГАДТУ: Сб. науч. трудов. – X., 2000. – Вып. 12-13. – С. 42-47.
9. Развитие новейших криогенных технологий для перспективных видов автомобильного транспорта / В.А. Богомолов, И.Н. Кудрявцев, А.И. Пятак, С.И. Бондаренко, М.С. Пламмер // Автомобильный транспорт: Сб. науч. трудов. – X., 2003. – Вып. 12. – С. 5-7.
10. Новый вид пожаробезопасного и экологически чистого транспортного средства для аэропортов / С.И. Бондаренко, И.Н. Кудрявцев, А.И. Пятак, И.И. Тимченко, А.П. Кудряш // Проблемы машиностроения. – 2002. – Т. 5, № 2. – С. 92-95.
11. Бондаренко С.И. Криогенные автомобили: разработка и применение / С.И. Бондаренко, И.Н. Кудрявцев, А.И. Пятак // Технологии, Оборудование, Материалы: Прилож. журн. Экономика и производство (Россия). – 2002. – № 3. – С. 37-39.
12. Бондаренко С.И. О возможности создания боевой машины-невидимки / С.И. Бондаренко, А.И. Пятак, И.Н. Кудрявцев // Механіка та машинобудування. – 2001. – № 1,2. – С. 73-75.
13. Пневматические двигатели для экологически чистых транспортных силовых установок / И.Н. Кудрявцев, А.И. Пятак, С.И. Бондаренко, Б.Н. Муринец-Маркевич // Вестник НТУ «ХПИ»: Сб. науч. трудов. Тематич. вып.: Автоматика и приборостроение. – X.: НТУ «ХПИ», 2005. – № 7. – С. 81-90.
14. Разработка системы хранения газа для экологически чистого криогенного автомобиля / С.И. Бондаренко, И.Н. Кудрявцев, Н.М. Левченко, А.И. Пятак, М. Пламмер, С.П. Мовчан // Вісник Інженерної Академії України. – 2004. – № 2. – С. 88-94.
15. Эффективность использования пневмодвигателя в автомобиле / И.Н. Кудрявцев, А.И. Пятак, С.И. Бондаренко, А.Я. Левин, Б.Н. Муринец-Маркевич, М.С. Пламмер // Альтернативная энергетика и экология. – 2005. – № 2(22). – С. 82-88.
16. Электрические машины на основе высокотемпературных сверхпроводников. Состояние разработок и перспективы развития / Л.К. Ковалев, К.В. Илюшин, К.Л. Ковалев и др. // Наука – производству. – 2000. – № 10 (35). – С. 25-33.

Поступила в редколлегию 23.08.2013

**Рецензент:** д-р воен. наук, проф. И.О. Кириченко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

### РОЗРОБКА ЕКОЛОГІЧНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ КРИОГЕННОЇ СИЛОВОЇ УСТАНОВКИ ЗІ ЗНИЖЕНИМ РІВНЕМ ТЕПЛОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

М.І. Адаменко, І.М. Кудрявцев

Розглянуто можливість застосування криогенної силовой установки на рідкому азоті, процеси в якій відбуваються при температурах навколишнього середовища або більш низьких, на військових транспортних засобах з низьким рівнем теплового випромінювання. В результаті спеціальна техніка стає невидимою в інфрачервоному (ІЧ) діапазоні довжин хвиль. Це робить її машиною-невидимкою в умовах сучасних військових операцій, що відбуваються в нічний час і на відстанях, недоступних для візуально-оптичного спостереження. Запропонована конструкція легкого розвідувального транспортного засобу з криогенною силовою установкою.

**Ключові слова:** криогенна техніка, транспортна силова установка, рідкий азот, теплове випромінювання.

### DEVELOPMENT OF ECOLOGICAL TRANSPORT CRYOGENIC POWER INSTALLATION WITH REDUCED LEVEL OF THERMAL RADIATION

N.I. Adamenko, I.N. Kudryavtsev

The possibility of using of cryogenic power plant on liquid nitrogen, which operates at ambient or lower temperatures, for military vehicles with reduced heat radiation has been considered. As a result, the special mechanisms become invisible in the infrared (IR) wavelengths. This makes it an invisible vehicle in modern military operations taking place at night and at distances that are inaccessible to visually-optical observation. A design of a light reconnaissance vehicle with a cryogenic propulsion system has been proposed.

**Keywords:** cryogenics, transport power plant, liquid nitrogen, heat radiation.