

1. INTRODUCTION

The Government of Israel has decided to equip civil transport category aeroplanes in Israeli airline service with systems to protect them from potential threats posed by Man Portable Air Defence missiles (MANPADs). The decision was made in response to the growing proliferation of these weapons and their known dispersal into the hands of non-state entities, some of which are engaged in attacks against civil aircraft such as the attack upon the Boeing 757 aircraft operated by Israeli air operator Arkia as the aeroplane took off from Moi International Airport, Mombasa, Kenya (HKMO) on November 28, 2002.

2. SELECTION OF THE DEFENSIVE SYSTEM

The Government of Israel reviewed the systems, both available and under development, capable of protecting large commercial aircraft from the MANPAD threats. Active and passive missile detection systems were considered, as were countermeasure systems using dispensable stores (flares) and those using electro optical countermeasures. It was eventually decided that the system that would provide the earliest availability, most efficient defensive shield, and would be most acceptable operationally within the commercial air traffic environment would be a system combining passive, optical missile-detectors and directed, infrared laser countermeasures.

3. AWARD OF THE PROGRAM CONTRACT

In June 2009, Israel's Ministry of Transportation awarded Elbit Systems a contract for the supply of the DIRCM systems. The systems will be installed on a variety of commercial passenger aeroplanes operated by Israeli air operators El-Al, Arkia and Israir, as part of the comprehensive 'Sky Shield' air transport defence plan.

The system selected for the program is the C-MUSIC (Commercial Multi-Spectral Infrared Countermeasure) system, one of a growing family of similar MUSIC systems, each adapted for use on a particular type of aeroplane or helicopter platform. All are based on fiber-laser, directional infra-red countermeasure technology. The laser beam generated by the system disrupts missiles fired at aircraft and causes them to veer off course.

4. THE C-MUSIC SYSTEM

The main components comprising the C-MUSIC system are the passive, electro-optical Missile Warning System, the Jamming Turret/Laser Generator, and the system main Electronics Unit. All the main system units are housed in a conformal, externally mounted structure (the C-MUSIC Pod) fixed to the lower, aft fuselage of the platform



aircraft. The C-MUSIC Pod is identical for all models of aeroplane to be equipped under the current program.

The system is designed to minimize its interface with aircraft systems and to operate automatically without inducing additional flight crew workload. Pods can be removed for servicing or repair and a replacement reinstalled in less than one hour. Aeroplanes may be dispatched with the Pod removed using a simply installed fairing.

5. THE C-MUSIC SYSTEM CERTIFICATION PROGRAM

Elbit Systems Electro-optics (Elop) applied for several STCs for models of transport aeroplanes on the Israeli register in July 2009. To date there are eight (8) STC applications, one for each of the following model aeroplanes: Boeing 737-800, 737-900ER, 757-300, 767-300, 747-400 and 777-200; Airbus A320-200; Embraer ERJ190-200ER (EMB 195). Each STC is a separate project within the CAAI Airworthiness Engineering Branch. The B737-800 model aeroplane is the first to undergo the certification process through award of the STC. The project is at an advanced stage of certification, with the first flight test with the C-MUSIC Pod installed having successfully taken place in June 2013.



5.1 Certification Program Concept

The C-MUSIC system is treated for certification as a "not required system" and is being certified on a "non-interference" basis. This means that the certification process will ensure that the installation and operation of the system comply with the applicable airworthiness regulations, but will not evaluate the issues of system performance and effectiveness. These issues are the responsibility of the Israeli Ministry of Defence. It will be substantiated during the certification process that installation and operation of the C-MUSIC System do not adversely affect aircraft safety including potential effects on



aircraft systems, structures, and performance or handling qualities. Furthermore, safety assessments, including the C-MUSIC Functional Hazard Assessment and System Safety Assessment include potential effects of the system on "persons outside the aircraft", as well as materials in the aircraft's environment.

5.2 Certification Basis

The state of Israel has adopted the US 14 CFR Part 25 as the Airworthiness Standard for Transport Category Airplane certification. The applicable amendment status for parts significantly changed is determined by date of the STC application, with the initial group of models governed by Amdt. 25-128 and those most recently applied for by Amdt 25-134. Separate Certification Plan and Compliance Checklist documents are submitted for each model.

In addition to the general airworthiness standards, the CAAI has published several Issue Papers regarding the C-MUSIC certification project, covering such issues as structures, (aerodynamic) vibrations and buffeting, flight crew workload, external noise, and Guidance for Assurance of Programmed Electronic Hardware Devices (DO-254).

5.3 Laser Safety as Part of the Certification Process

In the earliest stage of the certification project the CAAI determined that the issue of laser safety is central to the success of the certification process and the subsequent acceptability of the operation of the modified aeroplanes in international operation. Since the C-MUSIC system is intended to project laser energy into the navigable airspace and, potentially, into the immediate environment of civil aerodromes, the CAAI placed special emphasis on the issue of laser safety. The CAAI determined that the correct manner in which to bring this issue into focus was to direct the applicant, by means of an Issue Paper, to consider the potential effects of the laser on persons outside the aircraft, in addition to the passengers and crew normally considered in certification safety assessments. In response to the Issue Paper the applicant performed a thorough analysis of the C-MUSIC laser and its potential effects on persons and materials. The results of this report formed the basis of the categorization of the potential laser hazards within the Functional Hazard Assessment (FHA) that was approved by the CAAI. The FHA guided the design of the C-MUSIC system safety mitigations that prevent projection of laser energy while on ground. While airborne, the flight crew and passengers remain unaffected by the C-MUSIC laser because of the location of the system installation on the aircraft. Since the C-MUSIC laser operates in IR wavelengths that are not visible to the human eye, there are no issues of dazzling or blinding flight crew or other persons, both on ground and in the event of airborne operation.

In parallel to the safety analyses performed as part of the CAAI certification process, the C-MUSIC system was presented for evaluation by the Standards Institution of Israel (SII). After a thorough evaluation of the C-MUSIC system, including its safety mitigations, the SII issued a certificate declaring the C-MUSIC system to be a Class 1 Laser Product (safe under all conditions of normal use) in accordance with internationally recognized standards. (See Attachment B).



Attachment A: Laser Safety Appendix

The C-MUSIC two laser wavelengths' interactions with biological tissue and with materials were assessed.

1. Interactions with Biological Tissue

The C-MUSIC System is classified, by the Standards Institution of Israel as a Class 1 Laser Product (See Attachment 2) in that design mitigations reliably prevent any lasing on ground or in flight below a minimum safety height.

The combined lasers hazard distance for the 5-MPE criterion (according to ARP 5674 [5]) is 32.1 m.

The damage mechanism of laser tissue interaction for both C-MUSIC lasers is thermal. Different damage types are identified and probabilities for sustaining such damage in the event of laser illumination on the particular organ (skin or cornea) as a function of the range are calculated.

The damage types and 1:1,000,000 probability distances are summarized in the following table for 100% duty cycle exposures:

Table 1: Summary table of damage type distance

Damage type	Distance [m]
Corneal MVL	25.3
Corneal stroma lesion	20.4
Skin MVL	10
Skin erythema	3.2

For ranges below these distances, the damage type probability increases according to the statistical characteristics of its definition (the Probit curve).

The 1:1,000,000 probability distance of corneal MVL is 25.3 m.

2. Material Interaction

Material interaction with the lasers was also analyzed. The analysis included ignition potential for various materials and materials combination. The analysis included the following materials: Jet A and Jet A-1 fuels, concrete, asphalt, brick, nylon, rubber, aluminum, cotton, polyester, tires, dry grass and wood.

Temperature variations analysis as well as volatility analysis (for fuels and fuel vapor) was conducted to conclude that the C-MUSIC lasers do not pose any hazards for violent interaction with materials in its environment.

2.1. Mode of operation 1

Table 2 summarizes the final temperatures calculated for each material after 30sec exposure to the C-MUSIC lasers at 0m range. The laser output was taken to be CW for the Band I laser and 1MHz pulses without modulation for the Band IV laser.

Table 2: Final temperature of materials after laser exposure mode 1

Material	Final temp. at 55°C [°C] with heat conduction	Allowed temp. [°C]	Hazard
Jet fuel	67.8	210	No
Concrete/asphalt/brick	67.4	-	No
Rubber	88.9	107	No
Nylon	73.4	190	No
Cotton	75.3	210	No
Polyester	75.4	260	No
Aluminum	56.2	660	No
Dry grass	110.8	230	No

To summarize, the interaction of the C-MUSIC lasers with various materials does not pose any hazard.

2.2. Mode of operation 2

The laser operation options have different temporal distributions:

- i. Duty cycle – Max. available: 100% for Band I and 30% for Band IV.
- ii. Lasing condition: Periodic. Max. available for 3 hours; 60sec out of 135sec periods for 3 hours.

The analysis follows (including all equations, parameters and assumptions) the analysis in NSLS-PRO-0043 for the heat conduction case. It should be noted that the 3 hour period in question yields the heat equation to reach its steady state where the heat dissipation through conduction and convection equals the input heat flow from the laser radiation. Furthermore, while considering the periodical temporal distribution, the time interval between two adjacent exposures is long enough to enable proper heat dissipation and no thermal confinement occurs. Therefore, in this case the total heat buildup is diminished compared to the continuous option.

For this long exposure duration convection becomes a considerable effect. It is described by Newton's law of cooling, given by:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{hA}{C_v}(T - T_{amb})$$

Where h is the air heat convection coefficient (100W/Km²), A is the surface of the heated object, C_v is the specific heat and T_{amb} is the ambient temperature.

Table 3 shows that material maximum temperature during the exposure duration, neglecting threshold effects, the red background indicates temp. above the allowed ones:

Table 3: Final temperature of materials after laser exposure mode 2 for 3hr

Material	Max. temp. [°C] at 55°C ambient with heat conduction and convection		Allowed temp. [°C]	Hazard
	Band I	Band IV		
	100%DC	30% DC		
Jet fuel	85.3	95.8	210	No
Concrete/asphalt/brick	57.6	58.5	-	No
Rubber	81.1	90.1	107	No
Nylon	95.4	109.5	190	No
Cotton	100	115.6	210	No
Polyester	65.7	69.5	260	No
Aluminum	55	55	660	No



Material	Max. temp. [°C] at 55°C ambient with heat conduction and convection		Allowed temp. [°C]	Hazard
	Band I	Band IV		
	100%DC	30% DC		
Dry grass	82.5	92	230	No

As can be seen, in these extreme lasing conditions, the interaction of the C-MUSIC lasers with various materials does not pose any hazard.

3. Prevention of Lasing ON GROUND and IN FLIGHT Below Minimum Safety Height

There are several hardware mechanisms, both in the laser as well as in the system level, to prevent lasing in an unsafe manner:

- Discrete signals are derived from two independent Weight-on-Wheels systems, both of which must show IN FLIGHT condition to enable lasing.
- Lasing is prevented below a minimum safety height above ground level in accordance with readings from two, independent aircraft Radio Altimeters.
- In addition, electro-mechanical fail safe mechanisms prevent any escape of laser energy on ground.



Тема: Установка систем защиты на израильский коммерческий флот

Правительство Израиля приняло решение оборудовать израильский гражданский парк воздушных судов системами направленного инфракрасного противодействия (системами DIRCM) в целях защиты воздушных судов от потенциальных угроз от переносных зенитно-ракетных комплексов (ПЗРК).

Система DIRCM в настоящее время проходит процедуру комплексной Дополнительной Сертификации Типа (ДСТ) под руководством Администрации гражданской авиации Израиля в целях демонстрации ее соответствия стандартам ИКАО и нормативному регулированию Израиля.

Настоящий документ касается полученного в последнее время Администрацией ГА Израиля опыта по процедуре ДСТ для одобрения установки и эксплуатации систем DIRCM на основе лазера на коммерческих и транспортных воздушных судах, эксплуатируемых израильскими авиаперевозчиками.

Вопросы, представленные в прилагаемом документе, включают общее описание системы, определение сертификационной основы (базиса) и подход к анализу системы безопасности полетов, с особым акцентом на вопросы безопасной эксплуатации установленных на воздушных судах лазерах при проецировании в подлежащее навигационному управлению воздушное пространство.

Для вашей информации, начиная с 3-го квартала 2014 года израильские коммерческие авиакомпании (Эль Аль, Аркиа, и Изрэйр), как ожидается, начнут полеты по международным и внутренним маршрутам с таким установленным и работающим оборудованием.

Буду признателен, если вы распространите данную информацию среди соответствующих эксплуатационных предприятий в пределах своего государства, которые обычно взаимодействуют с израильскими авиакомпаниями.

При возникновении вопросов, прошу обращаться ко мне за разъяснениями.

С уважением,

/подпись/

Г.Ромм

Генеральный директор, Администрация гражданской авиации Израиля

1. Введение

Правительство Израиля приняло решение оборудовать гражданские воздушные суда транспортной категории, находящиеся в эксплуатации у израильских авиакомпаний, системами защиты от потенциальных угроз, возникающих от переносных зенитно-ракетных комплексов (ПЗРК). Решение было принято в качестве ответа на растущее распространение такого вида вооружения и их известное сосредоточение в руках негосударственных объединений, ряд которых вовлечен в атаки против гражданских самолетов, как, например, атака на Бойнг-757 израильской авиакомпании Аркиа 28.11.2002 при взлете из международного аэропорта Мои, Кения.

2. Выбор защитных систем

Правительство Израиля изучало системы, как уже имеющиеся, так и находящиеся в разработке, способные защитить большие коммерческие самолеты от угроз ПЗРК. Рассматривались системы активной и пассивной защиты от этого вида вооружения, в которых применены как меры противодействия с использованием расходуемых магазинов (сигнальных ракет), так и электро-оптические меры противодействия. В итоге было принято решение о том, что системой, которая бы обеспечивала доступность в самые краткие сроки, наиболее эффективный оборонный щит, и была бы наиболее эксплуатационно-приемлемой в окружающей среде коммерческих потоков воздушного транспорта, является система, комбинирующая в себе пассивные, оптические детекторы обнаружения ракеты, и направленные, инфракрасные меры противодействия.

3. Присуждение программы контракта

В июне 2009 года Министерство транспорта Израиля определило «Элбит Системс» в качестве исполнителя по контракту на поставку систем DIRCM. Система была установлена на множестве коммерческих пассажирских воздушных судов, эксплуатируемых израильскими авиакомпаниями Эль Аль, Аркиа и Изрэйр, в качестве части комплексного плана авиатранспортной защиты «Небесный щит».

Системой, выбранной для программы, является система С-МУЗЫКА (аббревиатура С-MUSIC расшифровывается как коммерческая система мультиспектрального инфракрасного противодействия), одна из растущего семейства схожих систем MUSIC («МУЗЫКА»), каждая из которых адаптирована под использование платформы на конкретном типе самолетов или вертолетов. Все они основаны на оптоволоконном лазере и технологии направленных инфракрасных мер противодействия. Лазерный луч, генерируемый системой, срывает атаку ракеты, выпущенной по самолету, и вынуждает ее отклониться от курса.

4. Система С-МУЗЫКА

Основными компонентами, которые включает в себя система С-МУЗЫКА, являются пассивные системы: электро-оптоволоконная система

предупреждения о ракетной угрозе, система заклинивания турели/лазерный генератор, и система основного электронного узла. Все основные элементы системы размещаются в соответствующем, монтируемом снаружи блоке-капсуле, зафиксированном в нижней кормовой части фюзеляжа. Капсула С-МУЗЫКА идентична для всех моделей самолетов, подлежащих оборудованию в рамках текущей программы.

Система разработана таким образом, чтобы минимизировать свой интерфейс с бортовыми системами и работать автоматически без дополнительной рабочей нагрузки на экипаж. Капсулы могут демонтироваться для технического обслуживания или ремонта, переустановка занимает менее часа. Самолет может контролироваться со снятой капсулой путем использования легко устанавливаемого обтекателя.

5. Программа сертификации системы С-МУЗЫКА

Электро-оптоволоконная система «Элбит Системс» применена для нескольких Дополнительных Сертификаций Типа (ДСТ) для типов транспортных самолетов в реестре Израиля в июле 2009 года. К этой дате имелось 8 заявок на ДСТ, по одной на каждый из следующих типов самолетов: Боинг 737-800, 737-900 ER, 757-300, 767-300, 747-400, 777-200, Эрбас А320-200, Эмбраер ERJ190-200ER (EMB 195). Каждый из ДСТ является самостоятельным проектом в рамках Инженерного офиса по поддержанию летной годности Администрации гражданской авиации Израиля. Первым для прохождения сертификационного процесса по присуждению ДСТ определен тип ВС Боинг 737-800. Проект находится на продвинутой стадии сертификации, с первым успешно выполненным в июне 2013 года тестовым полетом с установленной капсулой С-МУЗЫКА.



5.1. Концепция сертификационной программы

Система С-МУЗЫКА предполагается при сертификации как «система не по обязательному требованию» и сертифицируется на основе

«невмешательства». Это означает, что сертификационный процесс гарантирует, что установка и эксплуатация этой системы соответствует применяемому регулированию по летной годности, но не оценивает аспекты производительности и эффективности системы. Эти аспекты отнесены к сфере ответственности Минобороны Израиля. В процессе сертификации будет обосновано, что установка и применение системы С-МУЗЫКА не несет отрицательного влияния на безопасность полетов воздушного судна, включая потенциальное влияние на системы самолета, структуры и производительность качественных характеристик управления. Более того, оценка безопасности полетов, включая Оценку функциональной опасности системы С-МУЗЫКА и Оценку безопасности систем, включает потенциальное влияние системы на «лиц вне воздушного судна», а также на материалы в окружающей среде самолета.

5.2. Сертификационный базис

Государство Израиль приняло US 14 CFR Part 25 в качестве Стандарта летной годности для сертификации воздушных судов транспортной категории. Применяемый статус дополнения для существенно изменяемых частей определяется с даты применения ДСТ, для первичной группы типов, регулируемых Дополнением 25-128, и последующих – Дополнением 25-134. Для каждого типа представлены отдельные сертификационные планы и чек-листы соответствия.

Дополнительно к общим стандартам летной годности, Администрация гражданской авиации Израиля опубликовала несколько выпусков документов касательно проекта сертификации системы С-МУЗЫКА, охватывающих такие вопросы, как структуры, (аэродинамические) вибрации и бафтинг, рабочая нагрузка на членов экипажа, наружный (внешний) шум, Руководство по гарантии программируемых электронных устройств аппаратных средств (ДО-254).

5.3. Лазерная безопасность как часть сертификационного процесса

На ранней стадии сертификационного проекта Администрация гражданской авиации Израиля определила, что вопрос лазерной безопасности является центральным для успешного сертификационного процесса и последующей приемлемости эксплуатации модифицированных воздушных судов для международных полетов. Поскольку в системе С-МУЗЫКА планируется проецировать лазерную энергию в подлежащее навигационному управлению воздушное пространство и, потенциально, в непосредственную зону гражданских аэродромов, авиационное ведомство Израиля уделяет особое внимание вопросу лазерной безопасности. Оно определило, что правильным способом для фокусирования на этом вопросе, было издание Документа, директивно предписывающего эксплуатанту рассмотреть потенциальное воздействие лазера на людей вне самолета, в дополнение к пассажирам и экипажу на борту, которые обычно учитываются при сертификационной оценке безопасности. В своем ответе на изданный Документ эксплуатант представил тщательный анализ лазера системы С-МУЗЫКА и его потенциальное воздействие на людей и материалы. Результаты этого отчета

легли в основу категорирования потенциальной лазерной опасности в рамках Оценки функциональной опасности, одобренной Администрацией гражданской авиации Израиля. Этот документ определяет инструкции к разработке смягчающих элементов системы С-МУЗЫКА, которые препятствуют проецированию лазерной энергии при нахождении на земле. При нахождении в полете экипаж и пассажиры остаются вне влияния лазера системы С-МУЗЫКА в связи с тем, где находится место установки системы. Поскольку лазер в системе С-МУЗЫКА работает в инфракрасной длине волн, невидимых человеческому глазу, то не существует аспектов ослепления или ухудшения зрения членов экипажа и других лиц, как находящихся на земле, так и в зоне работающего оборудования системы.

Параллельно с анализом безопасности, выполненным в составе сертификационного процесса Администрации гражданской авиации Израиля, система С-МУЗЫКА была представлена на оценку в Институт стандартов Израиля. После тщательной оценки системы С-МУЗЫКА, включающей ее смягчение по аспектам безопасности, Институт стандартов Израиля выдан сертификат, определяющий что система С-МУЗЫКА отнесена к классу 1 лазерной продукции (безопасна по всем условиям нормального применения) в соответствии с международно-признанными стандартами.

Приложение А: Дополнение по лазерной безопасности

Рассматривалось взаимодействие с биологическими тканями и материалами двух лазерных волн системы С-МУЗЫКА.

1. Взаимодействие с биологическими тканями

Система С-МУЗЫКА классифицируется Институтом стандартов Израиля в соответствии с Классом 1 лазерной продукции и в разработанных смягчающих действие параметрах надежно предотвращает любое лазерное воздействие при нахождении на земле или в полете ниже минимально безопасной для использования системы высоты.

Совокупная опасная дистанция лазеров по критерию 5-MPE (в соответствии с ARP 5674 (5) составляет 32,1 м.

Наносящий повреждения механизм лазерного воздействия на ткани для обоих лазеров С-МУЗЫКА является термальным. Были идентифицированы различные типы повреждений и рассчитаны вероятности переносимости таких повреждений в случае облучения лазером определенного органа (кожи или роговицы).

В следующей таблице приведены виды повреждений и расстояния с вероятностью 1:1,000,000 для 100% рабочего цикла экспозиций:

Таблица 1: Сводная таблица расстояния по типам повреждений

Вид повреждения	Расстояние [м]
Минимальное видимое воздействие лазера на роговицу	25.3
Поражение стромы роговицы	20.4
Минимальное видимое воздействие лазера на кожу	10
Эритема кожи	3.2

На расстоянии, меньшем, чем вышеуказанные, вероятность поражения увеличивается пропорционально статистическим характеристикам (кривая Probit)

Минимальное видимое воздействие лазера на роговицу с вероятностью 1:1,000,000 составляет расстояние 25.3 метра.

2. Взаимодействие с материалами

Воздействие лазера на материалы также анализировалось. Анализ включал в себя вероятность возгорания для различных материалов и комбинации материалов. В анализ были включены следующие материалы: реактивное топливо Джет-А и Джет А-1, бетон, асфальт, кирпич, нейлон, резина, алюминий, хлопок, полиэстер, покрышки, сухая трава и древесина. Был проведен анализ колебания температур, а также анализ волатильности (для топлива и паров топлива), заключение состоит в том, что лазеры С-МУЗЫКИ не представляют никакой опасности для взаимодействия вспышки лазера с материалами в окружающей его среде.

2.1. Режим воздействия №1

В Таблице 2 в сводном виде представлены конечные температуры, рассчитанные для каждого материала, после 30сек выдержки лазеров в системы С-МУЗЫКА в диапазоне Оп. Выходная мощность лазера была принята равной CW для группы I по лазеру и 1МГц по импульсу без модуляции для группы IV по лазеру.

Таблица 2 Конечная температура материалов после лазерного воздействия в режиме №1

Материал	Конечная температура при 55°С (°С) с проведением нагрева	Допустимая температура (С)	Опасность
Реактивное топливо	67.8	210	нет
Бетон/асфальт/кирпич	67.4	-	нет
Резина	88.9	107	нет
Нейлон	73.4	190	нет
Хлопок	75.3	210	нет
Полиэстер	75.4	260	нет
Алюминий	56.2	660	нет
Сухая трава	110.8	230	нет

Таким образом, взаимодействие лазеров С-МУЗЫКИ с различными материалами не несет никакой опасности.

2.2. Режим воздействия №2

Применение лазера имеет различные варианты временных распределений:

i. Рабочий цикл - Макс. возможно: 100% для группы I и 30% для группы IV.

ii. Условие генерации лазера: периодически макс.возможно в течение 3 часов; по 60 сек. из 135-секундных периодов в течение 3 часов.

Анализ (включая все уравнения, параметры и допущения) следует из анализа в NSLS-ППО-0043 для случая теплопроводности.

Следует отметить, что предполагаемый 3-часовой период определяется уравнением теплопроводности для достижения его устойчивого состояния, при котором теплоотведение путем проводимости и конвекции равняется входному тепловому потоку от лазерного излучения. Более того, при рассмотрении периодического временного распределения, интервал времени между двумя соседними излучениями является достаточно длинным для того, чтобы дать возможным надлежащее рассеивание тепла, эффекта тепловой камеры не происходит.

Следовательно, в этом случае общее теплообразование уменьшается по сравнению с непрерывным вариантом.

При этом существенным эффектом становится длительная по продолжительности выдержки конвекция. Ее описывает закон охлаждения Ньютона:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{hA}{C_v}(T - T_{amb})$$

где h-коэффициент тепловой конвенции воздуха (100Вт/км²), A – поверхность нагреваемого объекта, C_v-теплоемкость, T_{amb} - температура окружающей среды.

В таблице 3 показана максимальная температура материала в течение времени излучения, не учитывая пороговые эффекты, красный фон указывает на температуру выше допустимых значений.

Таблица 3: конечная температура материала после лазерного воздействия в режиме №2 в течение 3 часов

Материал	Макс.температура [°C] при 55°C окр.среды с теплопроводностью и конвекцией		Допустимая температура [C]	Опасность
	Группа I	Группа IV		
	100% DC	30% DC		
Реактивное топливо	85.3	95.8	210	нет
Бетон/асфальт/кирпич	57.6	58.5	-	нет
Резина	81.1	90.1	107	нет
Нейлон	95.4	109,5	190	нет
Хлопок	100	115.6	210	нет
Полиэстер	65.7	69.5	260	нет
Алюминий	55	55	660	нет
Сухая трава	82.5	92	230	нет

Как можно увидеть, в этих экстремальных условиях излучения, взаимодействие лазеров системы С-МУЗЫКА с различными материалами не несет какой-либо опасности.

3. Предотвращение лазерного излучения при нахождении на земле и в полете ниже минимальной безопасной высоты

Существует несколько аппаратных механизмов, как в системе лазеров, так и на системном уровне, для предотвращения небезопасного излучения:

- Дискретные сигналы производятся двумя независимыми системами «Вес-на-Колёса», обе из которых должны показать условие «В полёте» для включения лазерного излучения.
- Излучение прекращается ниже минимальной высоты над уровнем земли в соответствии с показаниями от двух независимых радиовысотомеров воздушного судна.
- В дополнение, электро-механические безотказные механизмы предотвращают любое излучение лазерной энергии при нахождении на земле.