

УДК 629.1

КОНЦЕПЦИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА С СОЛНЕЧНЫМ ПИТАНИЕМ ДЛЯ ДОСТАВКИ ГРУЗОВ В ЗОНУ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ

Ткаченко Юлия Анатольевна

Академия гражданской защиты МЧС России, г. Химки, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассматривается концепция автономного робототехнического транспортного средства на батарее солнечных фотогальванических элементов (далее — солнечная панель), предназначенного для доставки полезной нагрузки в зону чрезвычайной ситуации по заранее определенному маршруту. Актуальность работы обусловлена тем, что частота возникновения природных и техногенных катастроф остается на статистически высоком уровне, что предъявляет повышенные требования к эффективности и безопасности логистических операций. Применение подобных роботизированных технологий позволяет минимизировать риски для жизни спасателей и пострадавших, обеспечивая доставку необходимой полезной нагрузки в отдаленные или опасные районы. Формулируются ключевые требования к платформе: обеспечение длительной энергоавтономности, способность преодолевать пересеченную местность и точное следование заданной траектории. Представлена детальная модульная архитектура робототехнического транспортного средства, включающая энергетическую, приводно-двигательную, навигационно-управляющую, грузовую и коммуникационную подсистемы, с акцентом на интеграцию солнечных панелей и аккумуляторной батареи, образующих гибридную энергосистему. В рамках исследования предложена математическая модель системы управления энергией, динамически распределяющей генерируемую солнечной панелью мощность между тяговыми электроприводами, бортовой электроникой и зарядом батареи. На основе этой модели сформулирована задача оптимального управления, целью которой является минимизация совокупных энергозатрат на выполнение задачи при соблюдении строгих ограничений по минимально-допустимому уровню заряда батареи, что гарантирует безотказную работу в условиях переменной солнечной инсоляции. Решение этой задачи направлено на максимизацию операционной деятельности и надежности робототехнического транспортного средства.

Ключевые слова: робототехническое транспортное средство, солнечные элементы, чрезвычайные ситуации, система управления энергией, доставка полезной нагрузки

Для цитирования: Ткаченко Ю. А. Концепция робототехнического транспортного средства с солнечным питанием для доставки грузов в зону чрезвычайной ситуации // Техносферная безопасность. 2026. № 3 (52). С. 144–154.

THE CONCEPT OF A SOLAR-POWERED ROBOTIC VEHICLE FOR DELIVERING GOODS TO AN EMERGENCY AREA

Yuliya A. Tkachenko

Civil Defence Academy EMERCOM of Russia, Khimki, Russian Federation

Abstract. The article discusses the concept of an autonomous robotic vehicle powered by solar cells, designed to deliver a payload to an emergency zone along a predetermined route. The relevance of the work is due to the growing frequency of natural and man-made disasters, which places increased demands on the efficiency and safety of logistics operations. The use of such robotic technologies makes it possible to minimize the risks to the lives of rescuers and victims, ensuring the delivery of the necessary payload to remote or dangerous areas. The key requirements for the platform are formulated: ensuring long-term energy autonomy, the ability to overcome rough terrain and accurately following a given trajectory. A detailed modular architecture of a robotic vehicle is presented, including energy, drive-propulsion, navigation-control, cargo and communication subsystems, with an emphasis on the integration of solar panels and a battery pack forming a hybrid energy system. As part of the study, a mathematical model of an energy management system is proposed that dynamically distributes the power generated by photovoltaic modules between traction electric drives, on-board electronics and battery charge. Based on this model, the optimal control task is formulated, the purpose of which is to minimize the total energy consumption for the task while observing strict limits on the minimum allowable battery charge level, which guarantees trouble-free operation in conditions of variable solar insolation. The solution to this problem is aimed at maximizing the operational performance and reliability of the robotic vehicle.

Keywords: robotic vehicle, solar cells, emergency situations, energy management system, payload delivery

For citation: Tkachenko Yu. A. The concept of a solar-powered robotic vehicle for delivering goods to an emergency area // *Technosphere safety*. 2026. No. 3 (52). P. 144–154.

Введение

Частота возникновения природных и техногенных катастроф остается на статистически высоком уровне [1], предъявляя повышенные требования к обеспечению эффективности и безопасности транспортно-логистических операций в зоне чрезвычайных ситуаций (ЧС). Применение роботизированных технологий дает возможность минимизировать угрозы здоровью и жизни

не только спасателей, но и пострадавшего населения, обеспечивая своевременную доставку необходимого оборудования, строительных материалов и предметов первой необходимости (далее — полезная нагрузка) в отдаленные и небезопасные районы. Параллельно повышаются ожидания относительно автономности таких устройств, ведь традиционные энергосети часто оказываются поврежденными или уничтоженными в результате чрезвычайной ситуации [2–4].

Перспективным решением становится использование солнечной энергии в качестве основы питания мобильных роботов. Эта технология способствует созданию экологичных и самодостаточных систем, способных длительное время функционировать в отдаленных районах при ограниченном доступе к внешним источникам энергии. Таким образом, возникает задача разработки мобильного роботизированного устройства на базе солнечной панели для транспортировки полезной нагрузки по маршрутам в зоны бедствия.

Целью данного исследования является разработка концептуальной модели роботизированного транспортного средства (РТС), оснащенного солнечной панелью, которое способно самостоятельно доставлять полезную нагрузку в зону ЧС. Важнейшим аспектом в таком случае является изучение технических характеристик и условий эксплуатации, необходимых для функционирования энергетической, навигационной и транспортной подсистем устройства.

Основная часть

Современная практика развития робототехники направлена на повышение мобильности грузовых платформ, используемых в различных ситуациях. Уже созданы специализированные полуавтономные робототехнические устройства, обеспечивающие перевозку тяжелого оборудования (массой до 1 500 кг) по сложной местности, включая участки развалин, мягкую почву и труднопроходимые территории [5, 6]. В таблице приведены характеристики некоторых робототехнических систем, которые могут применяться для доставки полезной нагрузки в условиях ЧС.

Одновременно прогрессирует область робототехники с использованием солнечной энергии. Международные исследования демонстрируют возможности длительного функционирования автономных платформ благодаря применению солнечных панелей и накопителей электроэнергии. Ранее проведенные исследования подтверждают их эффективность для увеличения продолжительности автономной работы и снижения потребности в стационарных источниках питания [7–10].

Однако в существующих решениях для работы РТС в условиях ЧС основное внимание уделяется либо пожаротушению и мониторингу, либо логистике, тогда как задачи доставки полезной нагрузки практически не рассматриваются, что обуславливает потребность в разработке специализированного РТС, объединяющего характеристики мобильной грузовой платформы и систему автономного электроснабжения на основе солнечных панелей. Создаваемое РТС должно обеспечивать эффективную доставку полезной нагрузки в зону ЧС согласно предварительно определенному маршруту. В таком случае основные требования [11] к подобному РТС можно сформулировать следующим образом:

- способен автономно работать продолжительное время за счет комбинации аккумуляторов и солнечных панелей;
- имеет возможность передвижения по сильно пересеченным участкам, включая труднопроходимые грунтовые покрытия, размытый грунт;
- точно следует заданному маршруту посредством спутниковых систем позиционирования, инерциальных навигационных приборов и сенсоров обнаружения препятствий.

Таблица
Характеристики некоторых РТС
Table
Characteristics of some RTAs

Модель/прототип Model/prototype	Применение Application	Грузоподъемность, кг Load capacity, kg	Источник энергии Energy source	Автономия, ч Autonomy, h	Навигация Navigation
Робот для ликвидации последствий стихийных бедствий ROMATRIS (Германия) Robotfor disaster relief ROMATRIS (Germany)	Доставка грузов Cargo delivery	До 150 Up to	Li-ion аккумуляторы Li-ion batteries	4–6	SNSS, LiDAR, следование за оператором following the operator
Автономная мобильная платформа KUKA AMR KMP 1500 (Германия) Autonomous mobile platform KUKA AMR KMP 1500 (Germany)	Перемещение грузов Cargo movement	До 1 500 Up to	Li-ion аккумуляторы Li-ion batteries	8	SLAM, LiDAR, QR-коды QR codes
Автономный мобильный робот Robotize GoPal (Дания) Autonomous mobile robot Robotize GoPal (Denmark)	Перемещение грузов Cargo movement	До 1 200 Up to	LiFePO4 аккумуляторы LiFePO4 batteries	До 8 Up to	LiDAR, камеры cameras
Грузовой робот AgileX Bunker (Китай) Cargo robot AgileX Bunker (China)	Транспортировка грузов Cargo movement	До 70 Up to	Li-ion аккумуляторы Li-ion batteries	До 6 Up to	LiDAR, камеры cameras

Предлагаемая архитектура РТС включает в себя следующие основные подсистемы: энергетическую, приводно-двигательную, навигационную, управляющую, грузовую и коммуникационную.

Энергетическая подсистема сочетает солнечные панели, размещенные на откидных секциях, с аккумуляторной батареей, выполняющей роль накопителя энергии и обеспечивающей работу в ночное время и при низкой освещенности. Для оптимизации баланса мощности применяется система управления энергией, распределяющая потоки между тяговыми электроприводами, бортовой электроникой и зарядкой аккумуляторов в зависимости от текущей освещенности и профиля движения.

Система управления энергией (СУЭ) предназначена для оптимизации распределения мощности солнечных панелей $P_s(t)$ между тяговыми электроприводами, бортовой электроникой и зарядкой аккумуляторов в зависимости от текущей освещенности $I(t)$, профиля движения и состояния аккумулятора $SOC(t)$. Мощность солнечных панелей $P_s(t)$ рассматривается как функция времени, так как в ходе выполнения задач изменяются условия освещенности, а также ориентация и положение РТС относительно источника излучения.

Общая мощность солнечных панелей распределяется по направлениям (1):

$$P_s(t) = P_d(t) + P_e(t) + P_3(t) + P_l(t), \quad (1)$$

где:

$P_d(t)$ — мощность тяговых приводов, Вт;

$P_e(t)$ — мощность бортовой электроники, Вт;

$P_3(t)$ — мощность зарядки аккумуляторов, Вт;

$P_l(t)$ — потери в преобразователях (5–10 %), Вт.

Выработка мощности солнечных панелей зависит от освещенности и угла наклона (2):

$$P_s(t) = \eta_p A I(t) \eta_s \cos(\theta(t)), \quad (2)$$

где:

η_p — КПД панели (0,18–0,25);

A — площадь панелей, м²;

$I(t)$ — освещенность (0–1 000 Вт/м²);

η_s — КПД системы (0,85–0,95);

$\theta(t)$ — угол падения солнечных лучей, угловые градусы.

Мощность тяговых приводов зависит от профиля движения и грузоподъемности (3):

$$P_d(t) = \frac{F_{\Sigma}(t) \cdot v(SOC(t))}{\eta_s} = \frac{(m_r + m_c)g(f + \sin \alpha(t))v(SOC(t))}{\eta_s}, \quad (3)$$

где:

$F_{\Sigma}(t)$ — суммарная сила сопротивления движению, Н;

$v(SOC(t))$ — скорость (адаптируется по состоянию аккумулятора $SOC(t)$), м/с;

$SOC(t)$ — доля заряда аккумулятора, безразмерная величина;

m_r — масса РТС, кг;

m_c — масса полезной нагрузки, кг;

g — ускорение свободного падения, м/с²;

f — коэффициент сцепления движителя с опорной поверхностью;

$\alpha(t)$ — продольный угол наклона опорной поверхности, угловые градусы.

Адаптацию скорости по энергорезерву можно представить в виде простого «регулятора экономии» скорости в зависимости от заряда аккумуляторной батареи (4):

$$v(SOC(t)) = v_{nom} \min\left(1, \frac{SOC(t) - SOC_{min}}{SOC_{nom} - SOC_{min}}\right), \quad (4)$$

где:

v_{nom} — номинальная максимальная скорость движения (при достаточном заряде батареи SOC_{nom});

SOC_{min} — доля минимально допустимого заряда аккумуляторной батареи;

SOC_{nom} — доля достаточного уровня заряда, при котором РТС способно выполнять заданные функции (доля полного заряда).

Алгоритм приоритизации выработанной энергии солнечными панелями можно разбить на несколько шагов:

1. Обеспечение энергией жизненно важной электроники (контроллер, датчики, связь) $P_e^{\min}$.

2. Проверка достаточности мощности. На этом шаге оценивается текущая мощность, которую вырабатывают солнечные панели $P_s(t)$, если она больше, чем потребность электроники $P_e(t)$, то излишек ($P_r = P_s(t) - P_e(t)$) идет на дальнейшее распределение (заряд аккумуляторной батареи и движение). При $P_s(t) \leq P_e(t)$ вся мощность, выработанная солнечными панелями, направляется на электронику, движение осуществляется за счет заряда аккумуляторной батареи.

3. Оценка заряда аккумуляторной батареи. Если текущий заряд ниже целевого уровня ($SOC(t) < SOC_{цв}$), то часть оставшейся мощности направляется на заряд батареи $P_3(t) = \min(P_r, P_3^{\max})$. Целевой уровень заряда — это заданное проектировщиком пороговое значение уровня заряда аккумулятора (доля от 0 до 1), ниже которого СУЭ рассма-

тривает аккумулятор как «недозаряженный» и стремится увеличить $SOC(t)$ за счет перераспределения мощности солнечных панелей. Причем на заряд направляется оставшаяся мощность P_r , но не более, чем максимальная допустимая мощность заряда батареи $P_3^{\max}$. После этого определяется, сколько мощности можно направить на движение РТС из остатка $P_r = P_r - P_3(t)$. Если батарея заряжена до необходимого уровня, ($SOC(t) < SOC_{цв}$), то выработанная солнечными панелями энергия не расходуется на заряд ($P_3(t) = 0$) и направляется на движение.

4. Оценка энергии, необходимой на движение. На этом шаге определяется мощность, направляемая на движение $P_d(t) = \min(P_r, P_d^r(t))$. Для этого определяется требуемая мощность на движение $P_d^r(t)$ (по массе, уклону, необходимой скорости и т. п.). Причем на привод подается не больше, чем позволяет остаток P_r . Если остаток меньше, чем необходимо, РТС вынуждено снижать скорость (тягу) или добирать недостающее из аккумуляторной батареи.

Формализованная схема распределения мощности может быть представлена следующими отношениями (5):

$$\begin{cases} P_e(t) = \min(0, P_s(t) - P_e(t)) \\ P_3(t) = \begin{cases} \min(P_r, P_3^{\max}), & SOC(t) < SOC_{цв} \\ 0, & SOC(t) \geq SOC_{цв} \end{cases} \\ P_d(t) = \min(P_r, P_d^r(t)). \end{cases} \quad (5)$$

Динамика аккумулятора, показывающая изменение уровня заряда, зависит от времени, и если представить баланс энергии батареи в следующем виде (6):

$$\frac{dE_{\text{АКБ}}(t)}{dt} = P_{3/p}(t), \quad (6)$$

где:

$E_{\text{АКБ}}(t)$ — запас энергии в аккумуляторной батарее;

$P_{3/p}(t)$ — результирующая мощность, идущая в батарею (если положительна) или из нее (если отрицательна) (7)

$$P_{3/p}(t) = P_s(t) - P_n(t), \quad (7)$$

где $P_n(t)$ — общая мощность потребителей в данный момент времени (8)

$$P_n(t) = P_d(t) + P_e(t) + P_l(t), \quad (8)$$

то можно определить состояние аккумуляторной батареи в следующем виде (9):

$$SOC(t) = \frac{E_{AKB}(t)}{C_{AKB}}, \quad (9)$$

где C_{AKB} — номинальная емкость батареи, Ач, тогда (10):

$$\frac{dSOC(t)}{dt} = \frac{1}{C_{AKB}} \cdot \frac{dE_{AKB}(t)}{dt} = \frac{P_s(t)}{C_{AKB}} = \frac{P_s(t) - (P_e(t) + P_d(t) + P_l(t))}{C_{AKB}}. \quad (10)$$

Если рассматривать текущее состояние аккумуляторной батареи в процентном соотношении к номинальной емкости, то получим (11):

$$\frac{dSOC(t)}{dt} = \frac{100}{C_{AKB}} \cdot (P_s(t) - P_e(t) - P_d(t) - P_l(t)). \quad (11)$$

Рассмотрев динамику перераспределения энергии, выработанной солнечными панелями, целесообразно определить оптимальное распределение энергозатрат на выполнение задачи, что потребует найти

такие скорость движения РТС по маршруту $v(SOC(t))$ и мощность заряда батареи от солнечных панелей $P_3(t)$, рассматриваемые как функции управления, при которых минимизируется целевой функционал вида (12):

$$J = \int_0^T [\omega_1 P_n + \omega_2 (T - t_{\text{факт}}) + \omega_3 (1 - SOC(t))] dt, \quad (12)$$

где:

$\omega_1, \omega_2, \omega_3$ — весовые коэффициенты;

T — требуемое время для выполнения задачи;

$t_{\text{факт}}$ — фактическое время прибытия РТС в конечную точку маршрута при ограничениях (13):

$$\left\{ \begin{array}{ll} \frac{dSOC(t)}{dt} = \frac{100}{C_{AKB}} \cdot (P_s(t) - P_e(t) - P_d(t) - P_l(t)), & t \in [0, T] \\ P_n(t) = P_e(t) + P_d(t) + P_l(t), & \\ SOC_{\min} \leq SOC(t) \leq SOC_{\max}(t), & \forall t \in [0, T] \\ P_d(t) = \frac{(m_r + m_c)g(f + \sin \alpha(t))v(SOC(t))}{\eta_s} & \\ 0 \leq v(t) \leq v_{\text{ном}} \min \left(1, \frac{SOC(t) - SOC_{\min}}{SOC_{\text{ном}} - SOC_{\min}} \right), & \forall t \in [0, T] \\ \frac{ds(t)}{dt} = v(t), & s(0) = 0, s(T) = L \\ SOC(0) = SOC_{\text{цп}}, & \end{array} \right. \quad (13)$$

где L — длина маршрута (м).

Система уравнений (13) описывает совокупную динамику уровня заряда аккумуля

тора и движения РТС вдоль маршрута. Первое уравнение задает изменение уровня заряда аккумулятора в соответствии

с балансом мощности между солнечными панелями, потребителями, потерями и емкостью аккумулятора. Второе соотношение определяет суммарную потребляемую мощность. Третье выражение задает допустимый диапазон значений уровня заряда аккумулятора. Четвертое уравнение описывает тяговую мощность как функцию в зависимости от массы РТС и груза, уклона пути и текущей скорости. Далее задаются ограничения на скорость движения, учитывающие энергетическое состояние аккумулятора, кинематическое уравнение движения вдоль маршрута и начальное условие уровня заряда аккумулятора.

Уравнения (1)–(3), (5)–(8) основаны на типовых моделях баланса мощности и тяговой динамики мобильных электрических транспортных средств и автономных роботов [7–10].

Заключение

Таким образом, модель обеспечивает оптимальное распределение ограниченной мощности солнечных панелей, продлевая автономию РТС и адаптируя режимы движения к текущим энергетическим условиям.

Приводно-двигательная система может быть реализована в гусеничном или колесном исполнении с независимыми электрическими мотор-колесами или мотор-редукторами, обеспечивающими достаточную тягу для преодоления уклонов и препятствий при сохранении энергоэффективности. Навигационно-управляющая подсистема включает модуль спутниковой навигации, инерциальные датчики, одометрию, а также лазерные или ультразвуковые дальнометры для обнаружения препятствий и коррекции маршрута. Коммуникационная

подсистема обеспечивает обмен данными с пунктом управления и возможность переключения режимов работы (автономный, полуавтономный, телеуправление).

Использование солнечных элементов в составе энергетической подсистемы РТС позволяет уменьшить зависимость от стационарных зарядных станций и транспортируемого топлива, что особенно актуально в условиях разрушенной инфраструктуры [12]. С учетом изложенных ограничений целесообразно рассматривать солнечные панели на свободных поверхностях РТС не столько как основной источник тяговой мощности, сколько как автономную подсистему питания маломощных, но критически важных потребителей. В частности, солнечная подсистема может быть выделена в независимую ветвь электроснабжения, обеспечивающую работу резервного канала связи, подсистемы передачи телеметрии и координат, а также аварийного сигнала SOS в случае потери подвижности РТС (глубокий разряд аккумулятора, забуксовывание, механическое повреждение и т. п.). При таком подходе даже при полном отказе штатной энергетической системы солнечные панели сохраняют свою функциональную ценность, обеспечивая возможность обнаружения и эвакуации РТС, а также мониторинга в зоне ЧС.

Таким образом, на современном этапе развития фотоэлектрических технологий использование солнечных панелей в составе РТС для полноценного обеспечения тяговой потребности в условиях умеренных и северных широт следует считать перспективным направлением, реализуемость которого ограничена действующим уровнем КПД и удельной мощностью панелей. В ближайшей перспективе более практичным представляется использование солнечной подсистемы как

вспомогательного, в том числе аварийного, источника питания бортовых систем связи и мониторинга. При дальнейшем росте эф-

фективности солнечных панелей и снижения их массы доля солнечной энергии в балансе РТС может быть существенно увеличена.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Статистический анализ чрезвычайных ситуаций природного характера в мире и на территории Российской Федерации / Д. С. Королев [и др.] // Техносферная безопасность. 2023. № 3 (40). С. 131–138. EDN: LYFQBM.
2. Винтер М. С., Волов И. А., Махонькин Е. Д. Роботы-спасатели в современном мире // Актуальные проблемы авиации и космонавтики : сборник материалов IX Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики, в 3 т. Красноярск, 2023. Т. 2. С. 779–781. EDN: PJTMUF.
3. Галимова К. Р. Роботизированные решения для экстренных ситуаций // Тенденции развития науки и образования. 2024. № 108-10. С. 24–27. DOI: 10.18411/trnio-04-2024-529. EDN: PNSRYV.
4. Дмитриев С. А. Алгоритм координатного управления робототехническими комплексами в чрезвычайных ситуациях с использованием математической модели // Техносферная безопасность. 2024. № 4 (45). С. 23–33. EDN: WPXLBM.
5. Mathis Godard. Bunker Pro mobile robot: an efficient transport system to carry heavy loads // Génération Robots : blog. URL: <https://clck.su/shzVz> (дата обращения: 01.02.2026).
6. Inспенet. Semi-Autonomous Robot with AI Improves Logistics in Disaster Areas // Inспенet. Electronic data. United States, 2023. URL: <https://clck.su/MEfby> (дата обращения: 01.02.2026).
7. Solar-Powered Robotic Transport System for Emergency Operations in Natural Calamities / V. Chandra [et al.] // International Journal of Electrical Engineering and Technology. 2024. No. 11 (3). P. 555–564. URL: <https://clck.su/GnbMv> (дата обращения: 01.02.2026).
8. Smart Cities Concepts and Applications: A Review on Urban Sustainability / M. S. Mahdavejad [et al.] // International Journal of Energy Electronics and Systems. 2021. No. 10 (1). P. 1–18. URL: <https://clck.su/yfxPj> (дата обращения: 01.02.2026).
9. Smart Renewable Robotics: Development and Testing of a Solar-Powered Rover / V. Sibiraj [et al.] // Journal of Science Technology and Research (JSTAR). 2015. Vol. 6. Iss. 1. P. 1–14. URL: <https://clck.su/OMvxD> (дата обращения: 01.02.2026).
10. Design and Fabrication of Solar Car for Students Project / V. B. Shinde [et al.] // International Journal of Mechanical Research and Solution Engineering Technology. 2021. No. 1 (3). P. 1–6. URL: <https://clck.su/ukjBM> (дата обращения: 01.02.2026).
11. Логинов В. В., Вишняков А. В., Зубарев И. А. Оценка образцов робототехнических комплексов пожаротушения методом анализа иерархий // Техносферная безопасность. 2023. № 2 (39). С. 90–100. EDN: PQCQBC.
12. Кирпичникова И. М., Махсумов И. Б. Выбор электрооборудования автономной фотоэлектрической системы с использованием программного обеспечения PVsyst // Вестник

ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2020. № 2. URL: <https://clck.ru/Tefwp> (дата обращения: 01.02.2026).

REFERENCES

1. Statistical Analysis of Natural Emergencies in the World and in the Russian Federation / D. S. Korolev [et al.] // *Technosphere Safety*. 2023. No. 3(40). P. 131–138.
2. Winter M. S., Volov I. A., Makhonkin E. D. Rescue Robots in the Modern World // *Actual Problems of Aviation and Cosmonautics : Collection of Materials of the IX International Scientific and Practical Conference Dedicated to Cosmonautics Day*. In 3 volumes. Krasnoyarsk, 2023. Vol. 2. P. 779–781.
3. Galimova K. R. Robotic Solutions for Emergency Situations // *Trends in Science and Education Development*. 2024. No. 108-10. P. 24–27. DOI: 10.18411/trnio-04-2024-529.
4. Dmitriev S. A. Algorithm for Coordinate Control of Robotic Systems in Emergency Situations Using a Mathematical Model // *Technosphere Safety*. 2024. No. 4 (45). P. 23–33.
5. Mathis Godard. Bunker Pro mobile robot: an efficient transport system to carry heavy loads // *Génération Robots : blog*. URL: <https://clck.ru/shzVz> (accessed 01.02.2026).
6. Inспенet. Semi-Autonomous Robot with AI Improves Logistics in Disaster Areas // *Inспенet. Electronic data*. United States, 2023. URL: <https://clck.ru/MEfby> (accessed 01.02.2026).
7. Solar-Powered Robotic Transport System for Emergency Operations in Natural Calamities / V. Chandra [et al.] // *International Journal of Electrical Engineering and Technology*. 2024. No. 11 (3). P. 555–564. URL: <https://clck.ru/GnbMv> (accessed 01.02.2026).
8. Smart Cities Concepts and Applications: A Review on Urban Sustainability / M. S. Mahdavinnejad [et al.] // *International Journal of Energy Electronics and Systems*. 2021. No. 10 (1). P. 1–18. URL: <https://clck.ru/yfxPj> (accessed 01.02.2026).
9. Smart Renewable Robotics: Development and Testing of a Solar-Powered Rover / V. Sibiraj [et al.] // *Journal of Science Technology and Research (JSTAR)*. 2015. Vol. 6. Iss. 1. P. 1–14. URL: <https://clck.ru/OMvxD> (accessed 01.02.2026).
10. Design and Fabrication of Solar Car for Students Project / V. B. Shinde [et al.] // *International Journal of Mechanical Research and Solution Engineering Technology*. 2021. No. 1 (3). P. 1–6. URL: <https://clck.ru/ukjBM> (accessed 01.02.2026).
11. Loginov V. V., Vishnyakov A. V., Zubarev I. A. Evaluation of Samples of Robotic Fire-Fighting Complexes by the Hierarchy Analysis Method // *Technosphere Safety*. 2023. No. 2 (39). P. 90–100.
12. Kirpichnikova I. M., Makhsumov I. B. Selection of Electrical Equipment for an Autonomous Photovoltaic System Using the PVsyst Software // *Bulletin of the South Ural State University. Series Energy*. 2020. No. 2. URL: <https://clck.ru/Tefwp> (accessed 01.02.2026).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Ткаченко Юлия Анатольевна, канд. техн. наук, доцент кафедры спасательных робототехнических систем Академии гражданской защиты МЧС России (141435, Российская Федерация,

г. Химки, мкр. Новогорск, ул. Соколовская, стр. 1А); РИНЦ ID: 1100141, ORCID: 0009-0003-2559-3391;
e-mail: yu.tkachenko@agz.50.mchs.gov.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Yuliya A. Tkachenko, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department Rescue Robotic Systems, Civil Defence Academy EMERCOM of Russia (1A Sokolovskaya St., Khimki, md. Novogorsk, 141435, Russian Federation); ID RSCI: 1100141; ORCID: 0009-0003-2559-3391; e-mail: yu.tkachenko@agz.50.mchs.gov.ru