

УДК 614.839, 351.862  
Научная специальность: 5.2.6  
EDN: OCBCYT

# Риск-ориентированный подход к оценке последствий воздействия беспилотных летательных аппаратов по объектам инфраструктуры

ISSN 1812-5220  
© Проблемы анализа риска, 2025

## Невская Е.Е.,

РГУ нефти и газа (НИУ)  
имени И.М. Губкина,  
119991, Россия, г. Москва,  
Ленинский проспект, д. 65

## Виноградов О.В.\*,

Всероссийский научно-  
исследовательский институт  
по проблемам гражданской  
обороны и чрезвычайных  
ситуаций МЧС России  
(федеральный центр науки  
и высоких технологий),  
121352, Россия, г. Москва,  
ул. Давыдовская, д. 7

## Аннотация

Развитие беспилотных систем в последние годы привело к тому, что они стали одним из эффективных средств поражения объектов критической инфраструктуры в глубине территории. В статье изложен подход к анализу социально-экономических показателей риска при атаке объектов беспилотными летательными аппаратами. Использование показателей риска позволяет оценить вклад вероятности совершения атаки и вероятности получения определенной степени разрушений объектов.

**Ключевые слова:** анализ риска; беспилотные летательные аппараты; вероятность атаки; последствия атаки; оценка ущерба; устойчивость зданий и сооружений.

**Для цитирования:** Невская Е.Е., Виноградов О.В. Риск-ориентированный подход к оценке последствий воздействия беспилотных летательных аппаратов по объектам инфраструктуры // Проблемы анализа риска. 2025. Т. 22. № 2. С. 22–35. — EDN: OCBCYT

**Заявленный вклад авторов:** авторы в равной степени принимали участие в подготовке материалов статьи.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов**

# Risk-Based Approach to Assessing the Consequences of Unmanned Aerial Vehicles Impact on Infrastructure Facilities

---

**Elena E. Nevskaya,**

Gubkin Russian State University  
of Oil and Gas,  
Leninsky Prospekt, 65, Moscow,  
119991, Russia

**Oleg V. Vinogradov\*,**

All-Russian Scientific Research  
Institute for Civil Defence and  
Emergencies of the EMERCOM  
of Russia (Federal Science and  
High Technology Center),  
Davydovskaya str., 7, Moscow,  
121352, Russia

**Abstract**

The development of unmanned systems in recent years has led to the fact that they have become one of the most effective means of destroying critical infrastructure facilities deep in the territory. The article describes an approach to the analysis of socio-economic risk indicators when attacking objects by unmanned aerial vehicles. The use of risk indicators makes it possible to assess the contribution of the probability of an attack and the probability of objects receiving a certain degree of destruction.

---

**Keywords:** risk analysis; unmanned aerial vehicles; probability of attack; consequences of attack; damage assessment; resilience of buildings and structures.

---

**For citation:** Nevskaya E.E., Vinogradov O.V. Risk-based approach to assessing the consequences of unmanned aerial vehicles impact on infrastructure facilities // *Issues of Risk Analysis*. 2025;22(2):22-35. (In Russ.). — EDN: OCBCYT.

---

**Contribution of the authors:** the authors equally participated in the preparation of the article materials.

---

**The authors declare no conflict of interest**

**Содержание**

Введение

1. Процедура анализа риска
2. Идентификация опасностей от воздействия БПЛА
3. Оценка риска воздействия БПЛА
4. Оценка экономического ущерба и расчет интегрального риска
5. Выводы

Заключение

Список источников

---

## Введение

Угрозы, направленные на повреждение компонентов объектов топливно-энергетического комплекса (далее — ТЭК), капитального строительства, гидротехнических сооружений, производственных объектов и других критически важных объектов и объектов инфраструктуры (далее — объекты инфраструктуры), приводящие к значительному материальному ущербу и остановке производственных процессов, делают такие объекты первоочередными целями для актов вмешательства террористического характера. Анализ масштаба возможных последствий в случае реализации таких угроз помогает выявить слабые места критически важных элементов объекта и обосновать организационные и инженерно-технические мероприятия, направленные на обеспечение устойчивости функционирования объектов инфраструктуры.

На сегодняшний день беспилотные летательные аппараты (далее — БПЛА) стали одним из самых эффективных средств поражения важных инфраструктурных объектов не только вблизи линии боевого соприкосновения, но и глубоко в тылу противоборствующих сторон. Помимо прямого ущерба от поражения персонала, технологического оборудования и ограждающих конструкций, такие атаки приводят к остановке работы объектов на время восстановления и существенному экономическому ущербу не только для организации, его эксплуатирующей, но и для региона и страны в целом.

На большинстве объектов потенциальных целей поражения БПЛА проводится комплекс организационных и инженерно-технических мероприятий, направленных на защиту этих объектов. Помимо средств радиоэлектронной борьбы (далее — РЭБ) объекты оснащаются различными защитными конструкциями на основе тросов, сеток, габионов, железобетонных конструкций. Разработка, изготовление, установка и эксплуатация таких конструкций, как правило, требует значительного привлечения финансовых и материальных ресурсов, при этом объемы таких ресурсов должны выделяться с учетом потенциального риска применения БПЛА [1].

Обеспечение устойчивости функционирования организаций, необходимой для выживания населения является одной из основных задач гражданской

обороны<sup>1</sup>. Необходимость заблаговременного проведения комплекса мероприятий, направленных на максимально возможное уменьшение риска чрезвычайных ситуаций и снижение размеров ущерба при их возникновении, закреплена законодательно<sup>2</sup>. Планирование и проведение таких мероприятий предусматривает учет степени реальной опасности возникновения чрезвычайных ситуаций и тяжести их последствий, осуществляемый на основе оценки риска.

Оценка степени повреждения объекта в результате атаки БПЛА требует комплексного подхода, включающего анализ различных факторов, таких как: статистические данные о совершенных атаках, типы потенциальных объектов — целей для поражения БПЛА, характеристики самого БПЛА, его вооружение, характеристики системы управления, уязвимости объекта и методы защиты объекта от поражающего воздействия.

В этих условиях актуальным является применение технологий, основывающихся на анализе риска и учитывающих вероятность атаки БПЛА и тяжесть возможного ущерба от ее реализации.

В связи с этим целью настоящей статьи является определение подходов к анализу социально-экономических показателей риска при воздействии БПЛА по объектам инфраструктуры в интересах снижения риска от их применения.

При этом под снижением риска воздействия БПЛА будут пониматься действия, предпринятые для уменьшения вероятности воздействия БПЛА, ее последствий или того и другого вместе<sup>3</sup>.

*Материалы и методы.* Теоретическую и методологическую основу исследования составили отечественные и зарубежные научные и научно-популярные источники, информация новостных каналов, нормативные правовые акты и национальные стандарты, результаты ранее проведенных исследований.

<sup>1</sup> Федеральный закон от 12.02.1998 № 28-ФЗ «О гражданской обороне».

<sup>2</sup> Федеральный закон от 21.12.1994 г. № 68-ФЗ «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».

<sup>3</sup> ГОСТ Р 55059-2012 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент рисков чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Термины и определения».

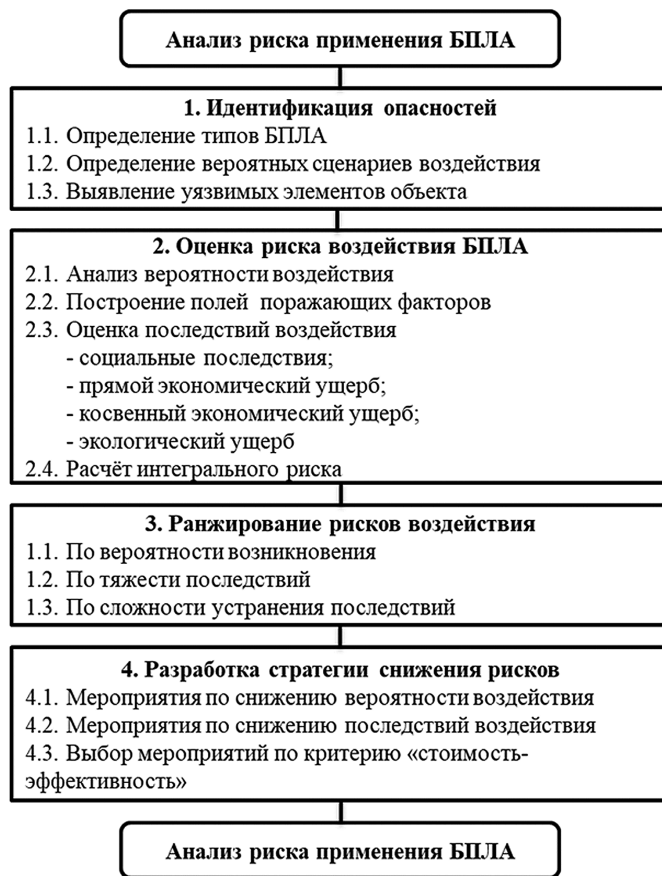


Рис. 1. Алгоритм оценки рисков воздействия БПЛА по объектам инфраструктуры

Figure 1. UAV impact risk assessment algorithm by infrastructure facilities

### 1. Процедура анализа риска

Целью анализа риска является определение как вероятности негативного события, так и величины ущерба в результате его реализации. При этом необходимо ответить на вопросы: что может произойти (то есть провести идентификацию опасностей), с какой вероятностью это может произойти (то есть провести анализ вероятности возникновения негативного события), каковы последствия этого события (то есть определить ущерб от реализации негативного события)<sup>4</sup>.

В ходе анализа риска должно быть учтено наличие и эффективность применяемых способов обеспечения безопасности в местах массового пребывания людей.

<sup>4</sup> ГОСТ Р 55059-2012 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент рисков чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. Термины и определения».

Алгоритм анализа риска при воздействии БПЛА по объектам инфраструктуры приведен на рис. 1. В зависимости от назначения и особенностей объекта инфраструктуры отдельные операции могут быть изменены или дополнены.

### 2. Идентификация опасностей от воздействия БПЛА

Основной задачей этапа идентификации является выявление и описание всех источников опасностей и сценариев их реализации, в том числе определение типов БПЛА, которые могут быть применены по объектам инфраструктуры в глубине территории страны, их боевой нагрузки, траектории полета, возможных сценариев применения.

Анализ БПЛА, применяемых Вооруженными силами Украины в ходе Специальной военной операции,

**Таблица 1. Характеристики некоторых БПЛА**

Table 1. Characteristics of some UAVs

№ п/п	Наименование	Взлетная масса, кг	Скорость полета, км/ч	Дальность полета, км	Масса полезной нагрузки, кг
1	MUGIN-5 PRO	85	150	700	25
2	PD-1	40	95	800	10
3	UJ-26 BEAVER	150	150	800	30
4	ВГ-26 Бобр	150	200	1000	20
5	Лютий	300	230	1050	75
6	PD-2	55	110	1100	30
7	UJ-22 AIRBORNE	85	200	1600	20

Источник: составлено авторами

позволяет сделать вывод о том, что наиболее вероятными типами БПЛА для атак на большие расстояния будут являться БПЛА самолетного типа, используемые в режиме «камикадзе», которые являются, по сути, высокоточным оружием большой дальности.

Характеристики некоторых БПЛА, использовавшихся для нанесения ударов в глубину территории России (см. табл. 1).

Необходимо отметить, что снижение полезной нагрузки может привести к увеличению дальности полета БПЛА.

По результатам анализа данных средств массовой информации по применению БПЛА по объектам тыла можно сделать вывод о том, что в качестве боевой нагрузки на БПЛА могут быть установлены кумулятивные, фугасные и осколочно-фугасные боевые части.

**Кумулятивная боевая часть:** при срабатывании кумулятивного боеприпаса создается высокотемпературная кумулятивная струя, состоящая из металла, находящегося в жидком состоянии и газообразных продуктах взрыва, которая движется с высокой скоростью, усиливая действие взрыва путем его концентрации в заданном направлении на маленькой площади. При этом основная часть избыточного давления взрыва боеприпаса остается снаружи пораженного оборудования, принося ему дополнительный ущерб. Внутри избыточное давление проникает в незначительном количестве вместе с кумулятивной струей. Поражается, как правило, одна единица технологического оборудования.

**Фугасная боевая часть:** при срабатывании фугасного боеприпаса создается ударная волна, приводящая к поражению людей или разрушению зданий

и сооружений продуктами взрыва и образующейся ударной волной. Ударная волна имеет большой радиус действия и вызывает полное или частичное разрушение элементов объекта инфраструктуры, перемещение (отбрасывание) их на значительное расстояние. В зависимости от мощности боевой части, расстояния до эпицентра взрыва, наличия защитных ограждающих конструкций может быть поражен как технологический блок, так и технологическая установка и повреждены рядом стоящие технологические установки.

**Осколочно-фугасная боевая часть:** при срабатывании осколочно-фугасного боеприпаса, помимо ударной волны образуются осколки, которые разлетаются в стороны, поражая людей или элементы объекта инфраструктуры. Чем больше масса осколков и их скорость, тем выше кинетическая энергия, тем сильнее их поражающее действие и больше дистанция, на которую они летят. В зависимости от мощности боевой части, характера осколков, расстояния до эпицентра взрыва, наличия защитных ограждающих конструкций может быть поражена технологическая установка и повреждены рядом стоящие технологические установки.

При срабатывании любой из боевых частей формируются поля теплового воздействия (высокотемпературная кумулятивная струя, раскаленные продукты взрыва и осколки), приводящие к воспламенению нефтепродуктов, горючих конструкций, веществ и материалов.

П. О. Михайлиным и В. Н. Нелюбовым представлены материалы [8] по результатам анализа последствий воздействия БПЛА по объектам хранения нефтепродуктов, в соответствии с которыми при попадании БПЛА в объект, как правило, разрушение происходит

чаще в верхнем и среднем поясах резервуара, реже — на верхнем поясе и крыше, а пожары, как правило, возникают из-за воспламенения вытекающих (вытекших) из пробоин горючих или легковоспламеняющихся жидкостей. Такие пожары могут быть классифицированы как одиночные (в отдельном резервуаре) или групповые (в группе резервуаров). Виды подобных пожаров представлены в табл. 2. Тепловой поток от такого рода пожаров влияет на соседние объекты, увеличивая риск новых очагов и взрывов («эффект домино»).

Осколочные поражения (см. табл. 3) от боеприпасов могут одновременно повредить несколько резервуаров, что значительно усложняет тушение подобных пожаров.

При попадании БПЛА в резервуар в начальных стадиях пожар происходит по следующим сценариям:

Вариант А: пробоина в стенке резервуара → утечка топлива.

Вариант Б: подрыв паровоздушной смеси; исход — 50% полное разрушение, 50% сброс крыши + горение.

Вариант В: зажигание зазора с последующей задержкой → затопление крыши, горение топлива.

Вариант Г: безусловный подрыв паровой подушки → 50% полное разрушение, 50% сброс крыши + горение.

Вариант Е: резервуар остается целым.

С точки зрения развития аварии на объекте при возможной атаке БПЛА, ее можно разделить по совокупности факторов на четыре типа последствий:

1 тип: реализация угрозы, формирование полей поражающих факторов, поражение одной единицы оборудования и распространение поражающих факторов на соседнюю единицу оборудования;

2 тип: реализация угрозы, формирование полей поражающих факторов, поражение технологического блока и распространение поражающих факторов на соседний технологический блок;

3 тип: реализация угрозы, формирование полей поражающих факторов, поражение одной технологической установки и распространение поражающих факторов на соседнюю установку;

4 тип: реализация угрозы, формирование полей поражающих факторов, поражение производственного объекта и распространение поражающих факторов на

**Таблица 2. Виды пожаров на резервуарах при воздействии БПЛА [8]**

Table 2. Types of fires on tanks when exposed to UAVs

№ п/п	Вид пожара	Развитие сценария
1	Внутренний пожар	– горение внутри резервуара; – образование взрывоопасных концентраций; – возможное вскипание горючей жидкости
2	Пожар на дыхательном устройстве	– факельное горение; – риск взрыва; – возможность перехода пожара на соседние резервуары
3	Наружный пожар	– горение разлившейся жидкости; – образование горячей волны; – возможный розлив за пределы обвалования
4	Комбинированный пожар	– одновременное горение внутри и снаружи резервуара; – максимальный риск распространения пожара

**Таблица 3. Характер разрушения резервуаров осколками [8]**

Table 3. Nature of tanks destruction by fragments

№ п/п	Вид разрушений резервуара	Характер разрушения резервуара
1	Сильные	– разрушение резервуаров; – разрушение технологической обвязки и запорной арматуры
2	Средние	– частичное повреждение кровли (до 50%); – деформация обечайки корпуса; – повреждение оборудования и запорной арматуры
3	Слабые	– частичное повреждение кровли с установленным на ней оборудованием; – деформация трубопроводов

соседний производственный объект, в случае нахождения в непосредственной близости.

При этом принимается, что объект инфраструктуры состоит из технологических установок, которые в свою очередь состоят из технологических блоков, включающих в себя технологическое оборудование.

Таким образом, воздействие БПЛА по объектам инфраструктуры, в зависимости от типа БПЛА и примененных организационных и инженерно-технических решений по защите от такого воздействия, может привести к частичному нарушению функционирования объекта или к полной остановке производственных процессов.

### 3. Оценка риска воздействия БПЛА

Оценка риска воздействия БПЛА по объекту инфраструктуры включает в себя следующие этапы:

- анализ вероятности применения БПЛА по объекту инфраструктуры;
- построение на плане объекта инфраструктуры полей поражающих факторов, возникающих при различных сценариях применения БПЛА;
- оценку последствий воздействия поражающих факторов взрыва боевой части БПЛА на людей, здания и сооружения.

*Анализ вероятности применения БПЛА по объекту инфраструктуры*

Целью анализа вероятности атаки БПЛА по объектам инфраструктуры является определение частоты каждого из сценариев возможного воздействия БПЛА по объекту инфраструктуры. В практике вероятность реализации сценария может быть определена с помощью трех основных подходов:

- анализ статистических данных по применению БПЛА, соответствующих специфике объекта инфраструктуры;
- логические методы анализа «деревьев событий», «деревьев отказов», имитационные модели;
- экспертные оценки путем учета мнения специалистов в этой области.

Для оценки вероятности атаки БПЛА по объекту инфраструктуры могут использоваться различные методы, например:

- методы, основанные на теореме Байеса, которая позволяет определить вероятность события при условии, что произошло другое статистически взаимозависимое с ним событие;
- метод Монте-Карло, использующийся для моделирования случайных процессов и оценки вероятности достижения цели.

Для оперативной оценки вероятности атаки объекта инфраструктуры БПЛА может быть оценена через частоту событий. Например, если известно, что в субъекте Российской Федерации зафиксировано  $n$  случаев атаки объектов БПЛА за последние месяцы, то вероятность атаки можно оценить через частоту событий.

$$P_{ат} = \frac{N_{ат}}{T_{наб}}, \tag{1}$$

где:

- $P_{ат}$  — вероятность атаки объекта БПЛА, 1/год;
- $N_{ат}$  — количество атак за период наблюдения  $T_{наб}$ , ед.
- $T_{наб}$  — период наблюдения, лет.

Вероятность атаки БПЛА на объект инфраструктуры зависит от удаленности объекта от линии боевого соприкосновения, значения объекта в экономике региона и страны, особенности территории, на которой расположен объект, погодных условий, наличия систем противовоздушной обороны и РЭБ в районе размещения объекта, системы управления ударного БПЛА и других факторов.

Вместе с тем приведенная формула (1) не учитывает особенности объекта, его роль в экономике региона и страны, удаленность от линии боевого соприкосновения, эффективность работы средств ПВО, экономические, географические и социальные особенности территории, на которой располагается объект.

Учесть эти особенности можно путем введения в зависимость (1) коэффициента (понижающего или повышающего), характеризующего весь необходимый спектр особенностей:

$$P_{ат}^* = \gamma \cdot \frac{N_{ат}}{T_{наб}}, \tag{2}$$

где:

- $\gamma$  — коэффициент учета особенностей объекта;
- $P_{ат}$  — вероятность атаки объекта БПЛА, 1/год;
- $N_{ат}$  — количество атак за период наблюдения  $T_{наб}$ , ед.
- $T_{наб}$  — период наблюдения, лет.

$$\gamma = f(n_1, n_2, n_3, \dots, n_k), \tag{3}$$

где  $n_1, \dots, n_k$  — параметры, характеризующие особенности региона и объекта.

*Построение полей поражающих факторов*

Учитывая наиболее часто используемые боевые части БПЛА, основными поражающими факторами

воздействия БПЛА по объекту инфраструктуры будут являться<sup>5</sup>:

- воздушная ударная волна;
- разлет осколков;
- кумулятивный эффект.

Основные параметры этих поражающих факторов, приведены в табл. 4.

**Таблица 4. Номенклатура параметров поражающих факторов<sup>6</sup>**

Table 4. Range of parameters of damaging factors

№ п/п	Наименование поражающего фактора	Наименование параметра поражающего фактора
1	Воздушная ударная волна	Избыточное давление. Длительность фазы сжатия. Импульс фазы сжатия
2	Разлет осколков	Масса осколка. Скорость разлета осколка. Дальность разлета
3	Кумулятивный эффект*	Кумулятивная струя. Осколки конструкций и капли металла

\* — не предусмотрен ГОСТ 22.0.07-2022

Далее приведены примеры расчета с использованием формулы Садовского<sup>7</sup> зон поражения ударной волной объекта ТЭК (типовой нефтебазы) для БПЛА типа «ВГ-26 Бобр» — фугасная боевая часть мощностью 20 кг в тротиловом эквиваленте (рис. 2) и «Лютый» — фугасная боевая часть мощностью 75 кг в тротиловом эквиваленте (рис. 3), с последующим отображением полей негативного воздействия на плане местности.

Рассматривается сценарий взрыва фугасной боевой части БПЛА вблизи резервуара с нефтепродуктами, оборудованного физической защитой в виде сетчатых защитных ограждающих конструкций купольного типа.

*Оценка последствий воздействия поражающих факторов*

Степень разрушения зданий и сооружений объекта инфраструктуры определяется исходя из значений избыточного давления во фронте воздушной ударной волны взрыва боевой части БПЛА.

<sup>5</sup> ГОСТ 22.0.07-2022 «Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров».

<sup>6</sup> Там же.

<sup>7</sup> Приказ Ростехнадзора от 15.12.2020 № 533 «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств».

Исходя из полученных результатов моделирования воздушной ударной волны при атаке БПЛА «ВГ-26 Бобр» рассматриваемый резервуар, согласно табл. 3 Приложения 3<sup>8</sup>, сохранит свою устойчивость. При атаке БПЛА «Лютый» резервуар попадает в зону полного разрушения, несмотря на применение физической защиты в виде сетчатых защитных ограждающих конструкций купольного типа.

Данные о возможной степени разрушений в зависимости от значений избыточного давления во фронте воздушной ударной волны взрыва боевой части БПЛА могут быть определены в соответствии с положениями ГОСТ Р 42.2.01-2014 (табл. 5)<sup>9</sup>.

В этом же документе приведены характеристики степеней разрушения зданий и сооружений (табл. 6.)<sup>10</sup>

Оценка последствий применения БПЛА по объектам инфраструктуры может быть проведена с использованием вероятностных методов. Зависимость вероятности поражения (разрушения) объекта инфраструктуры от поглощенной (воздействующей) дозы поражающего фактора (ударной волны, разлета осколков или теплового излучения) может быть описана стохастической моделью, получившей название «пробит-функции», которая в общем виде представляется зависимостью:

$$Pr = a + b \cdot \ln(D), \quad (4)$$

где:

$a, b$  — константы для каждого вещества или процесса, характеризующие специфику и меру опасности его воздействия;

$D$  — поглощенная доза воздействия поражающего фактора.

В ряде работ [2–5] приводятся значения коэффициентов  $a, b$  и  $D$ , используемые в определении пробит-функции для ударной волны и осколков, а в ГОСТ Р 12.3.047-2012 для теплового воздействия (см. табл. 7)<sup>11</sup>.

<sup>8</sup> Приказ Ростехнадзора от 15.12.2020 № 533 «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств».

<sup>9</sup> ГОСТ Р 42.2.01-2014 «Гражданская оборона. Оценка состояния потенциально опасных объектов, объектов обороны и безопасности в условиях воздействия поражающих факторов обычных средств поражения. Методы расчета».

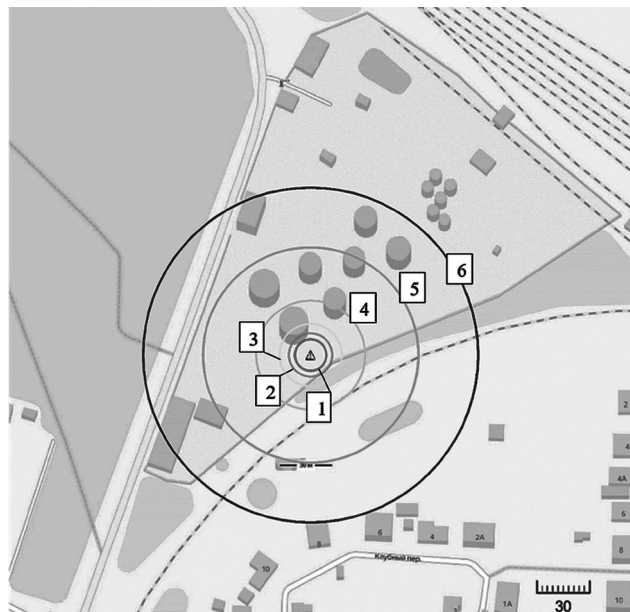
<sup>10</sup> Там же.

<sup>11</sup> ГОСТ Р 12.3.047-2012 «Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля».

**Таблица 5. Степени разрушения некоторых составных частей объектов ТЭК при различных значениях избыточного давления во фронте воздушной ударной волны взрыва боеприпаса**

*Table 5. The degree of destruction of some components of the fuel and energy complex at different values of overpressure in the front of the air shock wave of the ammunition explosion*

Наименование составных частей объекта	Степени разрушения составных частей объекта при различных значениях избыточного давления, кПа		
	слабая	средняя	сильная
Трубопроводы			
Подземные стальные (диаметр более 350 мм)	320–560	560–960	960–1600
Подземные стальные (диаметр менее 350 мм)	960–1600	1600–2400	2400–3200
Трубопроводы на эстакаде	32–48	48–65	65–80
Резервуары			
Наземные для ГСМ (пустые)	24–32	32–48	48–65
Наземные для ГСМ (заполненные)	-	110	-
Частично заглубленные (пустые)	64–80	80–130	130–160
Подземные	32–80	80–160	160–320
Газгольдеры	24–32	32–48	48–65



№ п/п	Избыточное давление, ΔРф, кПа	Размер зоны, м	Характер повреждений	Номер позиции на рисунке
1	100	9	Полное разрушение объектов	1
2	53	12	50%-ое разрушение объектов	2
3	28	18	Средние повреждения объектов	3
4	12	31	Умеренные повреждения объектов	4
5	5	61	Нижний порог поражения человека	5
6	3	95	Слабые повреждения	6

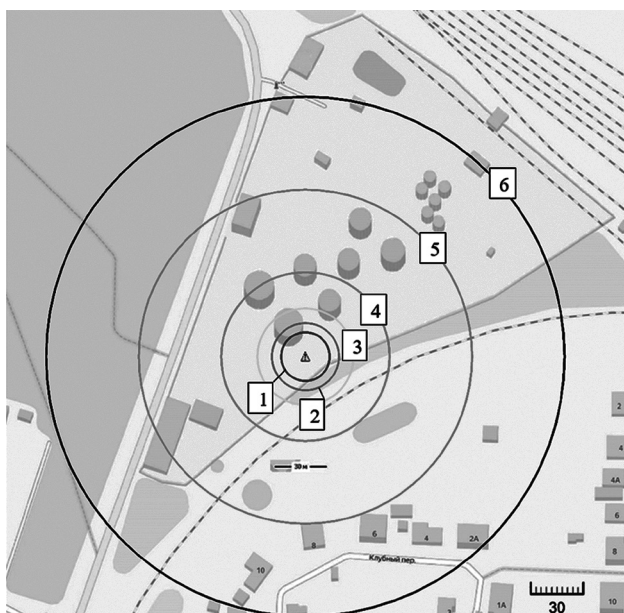
**Рис. 2. Радиусы зон поражения избыточным давлением при взрыве боевой части БПЛА типа «ВГ-26 Бобр»**

*Figure 2. Radiuses of overpressure impact zones in the explosion of the warhead of a VG-26 Beaver UAV*

**Таблица 6. Характеристика степеней разрушения зданий и сооружений**

Table 6. Description of destruction degrees of buildings and structures

№ п/п	Степень разрушения	Характер разрушения
1	Полная	Обрушение зданий и сооружений, от которых могут сохраниться только поврежденные (или неповрежденные) подвалы, а также незначительная часть прочных элементов. При полном разрушении образуется завал.
2	Сильная	Сплошное разрушение несущих конструкций зданий и сооружений. При сильных разрушениях могут сохраниться наиболее прочные элементы здания и сооружения: элементы каркасов, ядра жесткости, частично стены и перекрытия нижних этажей. При сильном разрушении образуется завал. Использование зданий невозможно, а восстановление нецелесообразно.
3	Средняя	Несущие конструкции сохраняются и лишь частично деформируются, при этом снижается их несущая способность. Разрушаются крыша, внутренние перегородки и частично перекрытия верхних этажей. После расчистки часть помещений нижних этажей и подвалы могут быть использованы. Опасность обрушения отсутствует. Эксплуатационная пригодность зданий и сооружений снижается. Восстановление зданий возможно при проведении капитального ремонта.
4	Слабая	Разрушение внутренних перегородок, кровли, дверных и оконных коробок, легких пристроек и др. Основные несущие конструкции сохраняются. Здание может эксплуатироваться после текущего ремонта.



№ п/п	Избыточное давление, ДРФ, кПа	Размер зоны, м	Характер повреждений	Номер позиции на рисунке
1	100	14	Полное разрушение объектов	1
2	53	19	50%-ое разрушение объектов	2
3	28	27	Средние повреждения объектов	3
4	12	48	Умеренные повреждения объектов	4
5	5	95	Нижний порог поражения человека	5
6	3	148	Слабые повреждения	6

**Рис. 3. Радиусы зон поражения избыточным давлением при взрыве БПЛА типа «Лютый»**

Figure 3. Radiuses of overpressure impact zones in case of "Fierce" type UAV explosion

**Таблица 7. Параметры пробит-функции для поражающих факторов**

Table 7. Probit parameters for damaging factors

Фактор и его последствия	a	b	d	Примечание
1. Фугасный				
Полное разрушение промышленных зданий	5	-0.22	$(40000/\Delta P)^{7.4} + (460/l)^{11.3}$	$\Delta P$ - перепад, Па; $l \cong (\Delta P \cdot \Delta t)/2$ – импульс давления, Па · с
Трудно реставрируемые повреждения зданий	5	-0.26	$(17500/\Delta P)^{8.4} + (290/l)^{9.3}$	-//-
Гибель людей:				
а) разрыва легких	5	-5.74	$(4.2 / (1 + \Delta P/P_0)) +$ $+ 1.3 (P_0^{0.5} m^{1/3})/l$	$P_0$ – атмосферное давление, Па; $m$ – масса тела человека, кг
б) метательного эффекта ВУВ	5	-2.44	$(738000/\Delta P) + (130000000/\Delta P \cdot l)$	
Повреждение органов слуха	-12.6	1.52	$\Delta P$	-//-
2. Осколочный				
Режущие осколки массой до 0,1 кг	-29.6	2.1	$m \cdot U^{5.12}$	$m$ – масса осколка, кг
Ударные осколки массой до 0,1 кг	-17.6	5.3	$0.5 \cdot m \cdot U^2$	$U$ – скорость осколка, м/с
Осколки массой от 0,1 до 4,2 и более кг	-13.2	10.5	$U$	(для стекла $U \cong 20$ м/с)
3. Тепловой				
Ожоги 1-й степени	-39.8	3.02	$\Delta t \cdot q^{4/3}$	$\Delta t$ – время, с $q$ – мощность потока, Вт/м <sup>2</sup>
Ожоги 2-й степени	-43.1	3.02	$\Delta t \cdot q^{4/3}$	
Гибель людей:				
без защитной одежды	-36.4	2.56	$\Delta t \cdot q^{4/3}$	
в защитной одежде	-37.2	2.56	$\Delta t \cdot q^{4/3}$	

Необходимо отметить, что при оценке характера разрушений зданий и сооружений целесообразно учитывать конструктивные особенности защищаемого объекта, организационные и технические меры, оказывающие влияние на устойчивость объекта инфраструктуры, в том числе:

- прочностные характеристики материалов, из которых изготовлены конструктивные элементы зданий, сооружений и конструкций (каркас, ограждающие конструкции, перекрытия), а также их устойчивость к внешним нагрузкам;

- наличие и эффективность технических и технологических решений, обеспечивающих защиту критических элементов (узлов, установок, блоков) и наиболее уязвимых элементов объектов инфраструктуры;

- наличие и эффективность систем и мер противопожарной защиты и пожаротушения, степень огнестойкости конструктивных элементов зданий, сооружений и установок;

- наличие и эффективность систем противоаварийной защиты, готовность персонала к выполнению противоаварийных мероприятий;

- организация защиты персонала, наличие защитных сооружений гражданской обороны, средств индивидуальной защиты, медицинских средств индивидуальной защиты;

- наличие, обеспеченность и готовность противобаварийных сил, сил гражданской обороны и защиты в чрезвычайных ситуациях;

- наличие и достаточность резервов для ликвидации чрезвычайных ситуаций, запасов материально-технических и других средств, создаваемых для нужд гражданской обороны;

- другие факторы, обеспечивающие устойчивость функционирования объекта инфраструктуры.

#### 4. Оценка экономического ущерба и расчет интегрального риска

Оценка экономического ущерба осуществляется на основе экономических, социальных и экологических показателей. Возможные варианты экономического ущерба включают:

1. Прямой экономический ущерб (разрушения, остановки производства).

2. Косвенный экономический ущерб (потери от простоя производства, увеличение стоимости восстановления, утраты репутации и т.п.).

3. Социальные последствия (гибель или угроза жизни людей, нарушение жизнедеятельности региона).

4. Экологический ущерб (загрязнение окружающей среды, долгосрочные негативные эффекты).

Чтобы количественно оценить ущерб, применяются методы экономической оценки потерь (например, затраты на восстановление объекта, снижение доходов компании и государства), расчет величины ущерба для здоровья (оценка числа погибших или пострадавших и степени тяжести травм), а также экологическое моделирование (оценка площади загрязнения, продолжительность воздействия вредных веществ).

Общая стоимость ожидаемого ущерба может быть выражена как сумма всех этих составляющих:

$$U = \sum_{i=1}^3 U_i, \quad (5)$$

где:

$U_1$  — экономический ущерб, тыс. руб.;

$U_2$  — социальный ущерб, тыс. руб.;

$U_3$  — экологический ущерб, тыс. руб.

Интегральный риск определяется произведением вероятности наступления события и размера ожидаемого ущерба:

$$R_{ат} = P_{ат} \cdot U, \text{ тыс. руб./год}, \quad (6)$$

где  $R_{ат}$  — итоговый показатель риска, который объединяет вероятность атаки БПЛА и величину последствий, тыс. руб./год;

Значение интегрального показателя риска укажет какую прогнозную сумму затрат нужно ежегодно закладывать на покрытие потенциального ущерба от атак БПЛА, тем самым формируя фонд средств покрытия ожидаемого ущерба.

Исходя из выражения (6) организационные и инженерно-технические мероприятия должны быть направлены либо на снижение вероятности воздействия БПЛА по объекту инфраструктуры (использование средств РЭБ, комплексная маскировка и т.д.), либо на снижение ущерба от реализации негативных сценариев (установка средств физической защиты, проведение мероприятий по обеспечению устойчивости функционирования, защита персонала, создание сил и средств для восстановления нарушенного производства) либо на оба этих фактора [6].

При разработке мер по уменьшению риска необходимо учитывать, что вследствие возможной ограниченности ресурсов в первую очередь должны разрабатываться простейшие и связанные с наименьшими затратами рекомендации, а также меры на перспективу.

При обосновании и оценке эффективности предлагаемых мер по уменьшению риска рекомендуется придерживаться двух альтернативных целей их оптимизации:

- при заданных средствах обеспечить максимальное снижение риска;
- при минимальных затратах обеспечить снижение риска до приемлемого уровня.

## 5. Выводы

1. БПЛА стали эффективным средством воздействия по объектам тыла противоборствующих сторон, приблизившись по своим характеристикам к высокоточному оружию.

2. Многофакторный анализ уязвимостей объектов инфраструктуры к воздействию БПЛА целесообразно выполнять с использованием инструментов анализа риска.

3. При оценке воздействия БПЛА по объектам инфраструктуры необходимо учитывать не только возможный ущерб, но и вероятность такого воздействия, при этом должны быть учтены особенности территории, на которой расположен объект инфраструктуры, и характеристики самого объекта.

4. Снижение потенциального ущерба от воздействия БПЛА по объекту инфраструктуры может быть достигнуто проведением комплекса организационных и инженерно-технических мероприятий, направленных как на снижение ущерба в результате атаки БПЛА, так и на снижение вероятности такой атаки.

## Заключение

Применение беспилотных систем для нанесения ущерба противоборствующей стороне в настоящее время стало не только инструментом военной силы, но и средством достижения экономических и политических целей. Малая заметность, большой радиус действия, автономные системы управления и наведения на основе искусственного интеллекта, боевые части с широким спектром массогабаритных характеристик и поражающих факторов, возможность скрытного запуска с территории противника, простота конструкции делают беспилотные системы уникальным средством военной, политической и экономической борьбы [7].

В этих условиях планирование и осуществление мер по защите от БПЛА на объектах инфраструктуры становится неотъемлемой частью обеспечения

устойчивости функционирования. Выбор конкретных мероприятий, финансовое обоснование их эффективности целесообразно базировать на методах анализа риска, учитывающих как вероятность реализации негативных сценариев, так и ожидаемый ущерб от их реализации. При этом необходимо применение комплексного подхода, обеспечивающего не только снижение возможного ущерба, но и снижение вероятности реализации негативных сценариев, связанных с воздействием БПЛА по объектам инфраструктуры. Применение предложенного подхода позволит определить наиболее предпочтительный набор мероприятий по защите объектов инфраструктуры по критерию «стоимость-эффективность».

## Список источников [References]

1. Задачи в области гражданской обороны и опыт их решения в ходе специальной военной операции на Украине / В.В. Абрамов, А.В. Агарков, С.Н. Азанов [и др.]. Москва: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2024. 444 с. ISBN 978-5-93970-297-3. — EDN RCTGXP. [Tasks in the field of civil defense and experience in solving them during a special military operation in Ukraine / V.V. Abramov, A. V. Agarkov, S. N. Azanov [et al.]. Moscow: FSBI VNIИ GOChS (FC), 2024, 444 p. ISBN 978-5-93970-297-3. — EDN RCTGXP. (In Russ.)]
2. Techniques for assessing industrial hazards: a manual (English). World Bank technical paper; no. WTP 55 Washington, DC: The World Bank. <http://documents.worldbank.org/curated/en/557481468740681645>
3. Белов П. Г. Моделирование опасных процессов в техносфере: Методические рекомендации. М.: Издательство АГЗ МЧС РФ. 1999. 124 с. [Belov P.G. Modeling of hazardous processes in the technosphere: Guidelines. M.: Publishing house AGZ EMERCOM of the Russian Federation. 1999. 124 p. (In Russ.)]
4. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий. Учебное пособие. Книга 2. В. А. Котляревский, А. В. Виноградов, С. В. Еремин, В. М. Кожевников, А. А. Костин, А. И. Костин, С. Ю. Ревенко. М.: Издательство АСВ, 1996. 384 с. [Accidents and catastrophes. Prevention and elimination of consequences. Tutorial. Book 2. V. A. Kotlyarevsky, A. V. Vinogradov, S. V. Eremin, V. M. Kozhevnikov, A. A. Kostin, A. I. Kostin, S. Yu. Revenko. M.: ACB Publishing House, 1996. 384 p. (In Russ.)]
5. Овсяник А. И., Чурбанов О. И., Косоруков О. А. Оценка и управление рисками при чрезвычайных ситуациях. Учебное пособие. М.: ВИА. 2004. 105 с. [Ovsyanik A. I., Churbanov O. I., Kosorukov O. A. Emergency risk assessment and management. Tutorial. M.: VIA. 2004. 105 p. (In Russ.)]
6. Малышев В. П., Виноградов О. В. Возможные направления повышения устойчивости организаций, необходимых для выживания населения при современных военных конфликтах // Проблемы анализа риска. 2023. Т. 20. № 5. С. 60–70. <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-5-60-70>. — EDN SADMGL [Malyshev V. P., Vinogradov O. V. Possible directions to increase the sustainability of organizations necessary for the survival of the population in modern military conflicts // Issues of Risk Analysis. 2023;20(5):60–70. (In Russ.). <https://doi.org/10.32686/1812-5220-2023-20-5-60-70>. — EDN SADMGL]
7. Виноградов О. В., Дуганов В. А., Малышев В. П. Методический подход к прогнозированию военно-политической обстановки на основе оценки военно-стратегических потенциалов противоборствующих государств // Проблемы анализа риска. 2024. Т. 21. № 1. С. 12–23. — EDN MLCJHB [Vinogradov O. V., Duganov V. A., Malyshev V. P. Methodical approach to forecasting the military-political situation based on an assessment of the military-strategic potentials of the warring states // Issues of Risk Analysis. 2024;21(1):12–23. (In Russ.) — EDN MLCJHB]
8. Михалин П. О., Нелюбов В. Н. Рекомендации по тушению пожаров в резервуарных парках хранения темных и светлых нефтепродуктов при атаках беспилотных летательных аппаратов. Москва. 2024. [Электронный ресурс] URL: <https://fireman.club/literature/ushenie-pozharov-v-rezervuarah-pri-atakah-bpla-2024/?ysclid=m99y3y0btr844538766> [Recommendations for extinguishing fires in tank farms for storing dark and light petroleum products during attacks by unmanned aerial vehicles. Moscow. 2024. [Electronic resource] URL: <https://fireman.club/literature/ushenie-pozharov-v-rezervuarah-pri-atakah-bpla-2024/?ysclid=m99y3y0btr844538766> (In Russ.)]

## Сведения об авторах

**Невская Елена Евгеньевна:** кандидат технических наук, доцент, Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина,

Количество публикаций: 19  
Область научных интересов:  
ORCID: 0009-0001-8767-538X  
SPIN-код: 8457-5701  
*Контактная информация:*  
Адрес: 119991, г. Москва, Ленинский просп., д. 65, корп. 1.  
nevskaja.e@gubkin.ru.

**Виноградов Олег Владимирович:** кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского центра ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский

институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (федеральный центр науки и высоких технологий)  
Количество публикаций: более 40  
Область научных интересов: проблемы обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях  
SPIN-код: 3056-0611  
*Контактная информация:*  
Адрес: 121352, г. Москва, ул. Давыдовская, д. 7  
v1970ov@mail.ru

Статья поступила в редакцию: 09.04.2025  
Одобрена после рецензирования: 15.04.2025  
Принята к публикации: 17.04.2025  
Дата публикации: 30.04.2025

*The article was submitted: 09.04.2025*  
*Approved after reviewing: 15.04.2025*  
*Accepted for publication: 17.04.2025*  
*Date of publication: 30.04.2025*