

УДК 355; 355.4
МРНТИ 78.19.11

Ж. Е. Жагупаров¹, К. К. Каирбеков¹, М. С. Куанышбаев²

*¹Академия гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики
Казахстан, Кокшетау, Казахстан*

²Национальный университет обороны Республики Казахстан, Астана, Казахстан

ПАССИВНАЯ ЗАЩИТА ОБЪЕКТОВ ЭКОНОМИКИ В УСЛОВИЯХ ВООРУЖЁННЫХ КОНФЛИКТОВ: ПРИНЦИПЫ И ПОДХОДЫ

Аннотация. В статье рассматриваются теоретические, организационные и инженерно-технические основы пассивной защиты объектов экономики в условиях вооружённых конфликтов. Актуальность исследования обусловлена изменением характера современных военных угроз, при которых объектами воздействия становятся не только военные цели, но и элементы промышленной, энергетической, транспортной, коммунальной и социальной инфраструктуры. Особое внимание уделено защите объектов, обеспечивающих жизнедеятельность населения, устойчивость территорий и функционирование систем гражданской обороны. В статье раскрыта сущность пассивной защиты как совокупности заблаговременно подготовленных инженерных, организационных, технологических, планировочных и восстановительных мероприятий, направленных на снижение уязвимости зданий, сооружений, основных производственных фондов, инженерных коммуникаций и систем управления. Определены основные принципы пассивной защиты: заблаговременность, комплексность, дифференцированность, обоснованная достаточность, приоритет защиты персонала, резервирование, снижение вторичных поражающих факторов и готовность к восстановлению. Предложен математический аппарат оценки защищённости объекта экономики, основанный на определении коэффициента защищённости, вероятности повреждения элементов и интегрального показателя устойчивости функционирования. Полученные положения в целом могут быть использованы при разработке планов повышения устойчивости функционирования объектов экономики в условиях военных конфликтов.

Ключевые слова: пассивная защита, объекты экономики, вооружённый конфликт, гражданская оборона, устойчивость функционирования, основные производственные фонды, инженерная защита, вторичные поражающие факторы, критически важные объекты, потенциально опасные объекты, восстановление, резервирование.

Введение. Современные вооружённые конфликты сопровождаются применением высокоточного оружия, беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) и средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ). Поражение промышленных, энергетических, транспортных и коммунальных объектов нарушает жизнедеятельность населения [1]. Значительный ущерб вызывают вторичные факторы: пожары, взрывы, выбросы опасных веществ [2]. Пассивная защита – совокупность заблаговременных инженерных, технологических, организационных и восстановительных мер, снижающих уязвимость персонала, зданий, оборудования и сетей. Её цель – ограничить повреждения, предотвратить каскадные аварии и обеспечить восстановление функций объекта [3].

Методы и организация исследования. Используются сравнительно-аналитический, структурно-функциональный, экспертный и расчётно-оценочный

методы на основе анализа источников по гражданской обороне и защите объектов. Цель – обосновать принципы пассивной защиты и аппарат оценки устойчивости.

Результаты и обсуждение. Объект экономики – система взаимосвязанных зданий, оборудования, сетей, управления и персонала [4]. Отказ одного элемента может вызвать цепные нарушения, поэтому защита отдельных конструкций недостаточна. Оцениваются ударная волна, осколки, тепло, пожары, обрушения, вторичные взрывы и выбросы опасных веществ. Особо опасно комбинированное воздействие [1, 2].

Пассивная защита строится на восьми принципах: заблаговременность, комплексность, дифференцированность, обоснованная достаточность, приоритет безопасности персонала, предупреждение вторичных факторов, резервирование и готовность к восстановлению [2, 5]. Они предполагают включение защиты в проектирование, приоритет критических элементов, соответствие угрозам и ресурсам, укрытие и подготовку работников, локализацию аварий, создание резервов и ремонтных возможностей.

Защита персонала включает оповещение, укрытие и средства защиты. Для предотвращения вторичных аварий служат противопожарные разрывы, отсечная арматура и локализация разливов. Автономность обеспечивается резервными источниками энергии, воды и связи; восстановление – подготовленными силами, запасами и временными схемами.

Инженерно-технические и планировочные меры включают усиление конструкций, защиту проёмов, экраны, обвалование, заглубление коммуникаций и рассредоточение опасных участков. Технологические меры направлены на сокращение опасных запасов и безаварийную остановку. Организационные меры закрепляются в планах гражданской обороны (ГО). Информационно-управленческие и восстановительные меры обеспечивают дублирование управления, резервирование данных, страховой фонд документации, ремонтные бригады и комплектующие [2, 4, 5].

Для расчётной оценки объект представляется множеством элементов (1), каждый из которых обладает определённой устойчивостью:

$$O = \{O_1, O_2, \dots, O_n\} \quad (1)$$

где, O_i – отдельный элемент объекта экономики: здание, сооружение, технологическое оборудование, резервуар, трубопровод, пункт управления, насосная станция, трансформаторная подстанция и другие элементы.

Совокупность действующих факторов задаётся множеством (2):

$$\Theta = \{P_f, I, q_t, V_o, R_o, T, F_{sec}\} \quad (2)$$

где, P_f – избыточное давление во фронте воздушной ударной волны, кПа, I – импульс фазы сжатия, кПа·с, q_t – плотность теплового потока, кВт/м², V_o – скорость разлета осколков, м/с, R_o – радиус зоны осколочного поражения, м, T – температурное воздействие, °С, F_{sec} – вторичные поражающие факторы (химическое заражение, затопление и др.).

Пассивная защита должна снижать воздействие на элемент относительно исходного уровня (3):

$$\theta_i^z < \theta_i^0 \quad (3)$$

где, θ_i^0 – поражающее воздействие на i -й элемент без применения защитных мероприятий, θ_i^z – поражающее воздействие на i -й элемент после реализации мероприятий пассивной защиты.

Достаточная защищённость достигается, когда воздействие после защиты не превышает предельного значения, допускающего сохранение функции (4):

$$\theta_i^z \leq \theta_i^{cr} \quad (4)$$

где, θ_i^{cr} – предельное значение поражающего фактора для i -го элемента, при котором элемент сохраняет работоспособность или получает допустимые повреждения.

Для ударной волны сравниваются расчётное и предельное избыточные давления (5):

$$P_{f,i}^z \leq P_{cr,i} \quad (5)$$

где, $P_{f,i}^z$ – расчетное избыточное давление во фронте ударной волны после применения защитных мероприятий, кПа, $P_{cr,i}$ – предельное избыточное давление, выдерживаемое i -м элементом без потери работоспособности, кПа.

Снижение давления защитной конструкцией выражается через коэффициент ослабления (6):

$$P_{f,i}^z = k_i \cdot P_{f,i}^0 \quad (6)$$

где, k_i – коэффициент снижения воздействия поражающего фактора (коэффициент ослабления) для i -го элемента ($0 < k_i \leq 1$), $P_{f,i}^0$ – избыточное давление на i -й элемент без защиты, кПа, $P_{f,i}^z$ – избыточное давление на i -й элемент после применения защиты, кПа.

Подстановка зависимости (6) в условие (5) даёт критерий достаточности:

$$k_i \cdot P_{f,i}^0 \leq P_{cr,i} \quad (7)$$

Коэффициент защищённости элемента определяется отношением предельного воздействия к расчётному после защиты (8):

$$K_{z,i} = \frac{\theta_i^{cr}}{\theta_i^z} \quad (8)$$

где, $K_{z,i}$ – коэффициент защищённости i -го элемента объекта, θ_i^{cr} – предельное значение поражающего фактора для i -го элемента, θ_i^z – расчетное значение поражающего фактора после применения защиты.

Достаточной защите соответствует условие (9):

$$K_{z,i} \geq 1 \quad (9)$$

Значение коэффициента менее единицы указывает на необходимость дополнительных мероприятий. Интегральный показатель объекта рассчитывается как взвешенная сумма коэффициентов защищённости (10):

$$K_z = \sum_{i=1}^n w_i \cdot K_{z,i} \quad (10)$$

где, K_z – интегральный показатель защищенности объекта экономики, w_i – весовой коэффициент значимости i -го элемента объекта, $K_{z,i}$ – коэффициент защищенности i -го элемента, n – количество оцениваемых элементов объекта.

Сумма весов должна удовлетворять условию (11):

$$w_i = \frac{a_i}{\sum_{i=1}^n a_i} \quad (11)$$

где, a_i – средняя экспертная оценка значимости i -го элемента.

При этом должно соблюдаться условие нормировки весовых коэффициентов (12):

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (12)$$

Нормировка согласует вклады элементов при агрегировании. Средняя значимость рассчитывается по оценкам группы экспертов (13):

$$a_i = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m a_{ij} \quad (13)$$

где, a_{ij} – оценка значимости i -го элемента, выставленная j -м экспертом (обычно по шкале от 0 до 1 или по балльной шкале с последующей нормализацией), m – количество экспертов, участвующих в оценке.

Вероятность повреждения определяется превышением случайным воздействием предельной устойчивости элемента (14):

$$P_{d,i} = P(\theta_i > \theta_i^{cr}) \quad (14)$$

где, $P_{d,i}$ – вероятность повреждения i -го элемента, θ_i – расчетное значение поражающего фактора (случайная величина), θ_i^{cr} – предельное значение поражающего фактора для данного элемента.

Для дискретных или смешанных данных необходимы соответствующие вероятностные модели, включая статистические ряды и эмпирические функции распределения; выбор модели определяется характером исходной информации.

При вычислении учитывается тип распределения исходных данных. Для нормального распределения используется соответствующая функция распределения (15):

$$P_{d,i} = 1 - F_{\theta}(\theta_i^{cr}) \quad (15)$$

где, $F_{\theta}(x)$ – функция распределения случайной величины θ_i .

После реализации защиты вероятность повреждения определяется аналогично, по изменённому воздействию (16):

$$P_{d,i} = P(\theta_i^z > \theta_i^{cr}) \quad (16)$$

где, θ_i^z – значение поражающего фактора после применения защитных мероприятий.

Эффективность мероприятия выражается снижением вероятности повреждения (17):

$$P_{d,i}^z < P_{d,i}^0 \quad (17)$$

где, $P_{d,i}^0$ – вероятность повреждения i -го элемента без применения защиты, $P_{d,i}^z$ – вероятность повреждения i -го элемента после применения защиты.

Вероятность сохранения работоспособности всех критически важных элементов при предположении независимости определяется произведением частных вероятностей (18):

$$P_s = \prod_{i=1}^n (1 - P_{d,i}) \quad (18)$$

где, P_s – вероятность сохранения устойчивого функционирования объекта, $P_{d,i}$ – вероятность повреждения i -го элемента, n – количество критически важных элементов объекта.

После защиты применяется аналогичная зависимость (19):

$$P_s^z = \prod_{i=1}^n (1 - P_{d,i}^z) \quad (19)$$

В расчёте учитываются только критические элементы, необходимые для функционирования объекта. Оценка, основанная на допущении о независимости, является приближённой, поэтому для учёта реальных технологических и функциональных связей используется последовательность условных вероятностей (20):

$$P_s = P(O_1) \cdot P(O_2|O_1) \cdot P(O_3|O_1 \cap O_2) \cdot \dots \cdot P(O_n|O_1 \cap O_2 \cap \dots \cap O_{n-1}) \quad (20)$$

Для сложных объектов расчёт дополняется анализом путей отказа [6], выявляющим комбинации повреждений, ведущие к потере устойчивости. Оценка включает определение критических элементов, предельной устойчивости, коэффициентов ослабления и защищённости, экспертных весов и вероятностей повреждения, после чего сравниваются варианты защиты и затраты [7]. Общая результативность системы определяется повышением вероятности устойчивого функционирования (21):

$$P_s^z > P_s^0 \quad (21)$$

где, P_s^0 – вероятность сохранения устойчивого функционирования объекта без применения защиты, P_s^z – вероятность сохранения устойчивого функционирования объекта после применения защиты.

Модель позволяет количественно обосновать мероприятия, выявить уязвимые элементы по их значимости, вероятности повреждения и коэффициентам защищённости, выбрать вариант с максимальной вероятностью сохранения функций при ресурсных ограничениях и оценить эффективность затрат по приросту этой вероятности.

Выводы. Пассивная защита обеспечивает устойчивость объектов экономики посредством заблаговременного сочетания инженерных, технологических, планировочных, организационных, информационно-управленческих и

восстановительных мероприятий. Приоритетами являются безопасность персонала, сохранение критических элементов, предупреждение вторичных аварий, резервирование и готовность к восстановлению.

Предложенный аппарат связывает защитные мероприятия с количественными критериями. Коэффициенты защищённости, интегральная оценка и вероятностные показатели позволяют выявлять уязвимости, сравнивать альтернативы и обосновывать приоритеты. Подход применим при разработке и корректировке планов устойчивости, гражданской обороны и аварийно-восстановительных работ.

Статья разработана в рамках выполнения научно-исследовательской работы по грантовому финансированию Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан исследований молодых ученых по проекту «Жас ғалым» на 2026-2028 годы (ИРН АР32520135) «Разработка и обоснование рациональной модели пассивной защиты организаций, отнесенных к категориям по гражданской обороне, в условиях вооруженных конфликтов».

Список литературы

1. Методические основы обеспечения защищенности критически важных и потенциально опасных объектов. – М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), МЧС России, 2019. – 290 с.
2. Рейхов Ю.Н., Воскобоев В.Ф., Тугушов К.В., Лебедев А.Ю., Антошин А.Э., Казаков В.Ю. Мероприятия органов управления гражданской обороны по повышению устойчивости функционирования организаций, необходимых для выживания населения при военных конфликтах: монография / под ред. В.Ф. Воскобоева. – Химки: Академия гражданской защиты МЧС России, 2017. – 161 с.
3. Методические рекомендации по защите основных производственных фондов организации в целях повышения устойчивости функционирования объектов экономики при военных конфликтах или вследствие этих конфликтов: утв. МЧС России 18 августа 2023 г. № М-ВЯ-102.
4. Рейхов Ю.Н., Тугушов К.В., Лебедев А.Ю., Антошин А.Э. Основы устойчивости функционирования объектов экономики и территорий: учебное пособие. – Химки: Академия гражданской защиты МЧС России, 2019. – 289 с.
5. Рейхов Ю.Н., Тугушов К.В., Лебедев А.Ю., Ткаченко П.Н., Лермонтов А.С., Сидоров А.В. Устойчивость функционирования объектов экономики и территорий: учебное пособие. – Химки: Академия гражданской защиты МЧС России, 2011. – 450 с.
6. Вентцель Е.С. Исследование операций. – М.: Советское радио, 1972. – 552 с.
7. Жагупаров Ж.Е., Калиев А.З., Куанышбаев М.С., Каирбеков К.К., Агажаева Л.О. Төтенше жағдайлар жағдайында ұйымдардың жұмыс істеу орнықтылығын арттыру іс-шараларының тиімділігін бағалау мәселесіне байланысты // Наука и образование в гражданской защите. – Кокшетау, 2026. – № 1(61). – С. 25-38.

References

1. Metodicheskie osnovy obespecheniya zashchishchennosti kriticheski vazhnyh i potencial'no opasnyh ob'ektov. – M.: FGBU VNII GOCHS (FC), MCHS Rossii, 2019. – 290 s.
2. Rejhov Yu.N., Voskoboev V.F., Tugushov K.V., Lebedev A.Yu., Antoshin A.E., Kazakov V.Yu. Meropriyatiya organov upravleniya grazhdanskoj oborony po povysheniyu ustojchivosti funkcionirovaniya organizacij, neobhodimyh dlya vyzhivaniya naseleniya pri voennyh konfliktah: monografiya / pod red. V.F. Voskoboeva. – Himki: Akademiya grazhdanskoj zashchity MCHS Rossii, 2017. – 161 s.

3. Metodicheskie rekomendacii po zashchite osnovnyh proizvodstvennyh fondov organizacii v celyah povysheniya ustojchivosti funkcionirovaniya ob'ektov ekonomiki pri voennykh konfliktakh ili vsledstvie etih konfliktov: utv. MCHS Rossii 18 avgusta 2023 g. № M-VYa-102.

4. Rejhov Yu.N., Tugushov K.V., Lebedev A.Yu., Antoshin A.E. Osnovy ustojchivosti funkcionirovaniya ob'ektov ekonomiki i territorij: uchebnoe posobie. – Himki: Akademiya grazhdanskoj zashchity MCHS Rossii, 2019. – 289 s.

5. Rejhov Yu.N., Tugushov K.V., Lebedev A.Yu., Tkachenko P.N., Lermontov A.S., Sidorov A.V. Ustojchivost' funkcionirovaniya ob'ektov ekonomiki i territorij: uchebnoe posobie. – Himki: Akademiya grazhdanskoj zashchity MCHS Rossii, 2011. – 450 s.

6. Venttsel E. S. Issledovanie operatsiy. – M.: Sovetskoe radio, 1972. – 552 s.

7. Zhaguparov Zh.E., Kaliev A.Z., Kuanyshbaev M.S., Kairbekov K.K., Agazhayeva L.O. Totenshe zhagdailar zhagdaiynda uiymdardyn zhumys isteу ornkytylygyn arttyru is-sharalarynyn tiimdiligin bagalau maselesine bailanysty // Nauka i obrazovanie v grazhdanskoi zashchite. – Kokshetau, 2026. – № 1(61). – P. 25–38.

Ж. Е. Жағұпаров¹, К. Қ. Қайрбеков¹, М. С. Қуанышбаев²

¹*Қазақстан Республикасы Төтенше жағдайлар министрлігі Мәлік Ғабдуллин атындағы
Азаматтық қорғау академиясы, Көкшетау, Қазақстан*

²*Қазақстан Республикасының Ұлттық қорғаныс университеті, Астана, Қазақстан*

ҚАРУЛЫ ҚАҚТЫҒЫСТАР ЖАҒДАЙЫНДА ЭКОНОМИКА ОБЪЕКТІЛЕРІНІҢ ПАССИВТІ ҚОРҒАНЫСЫ: ҚАҒИДАТТАРЫ МЕН ТӘСІЛДЕРІ

Аңдатпа. Мақалада қарулы қақтығыстар жағдайында экономика объектілерін пассивті қорғаудың теориялық, ұйымдастырушылық және инженерлік-техникалық негіздері қарастырылады. Зерттеудің өзектілігі қазіргі заманғы әскери қауіп-қатерлер сипатының өзгеруіне байланысты. Мұндай жағдайларда тек әскери нысаналар ғана емес, сонымен қатар өнеркәсіптік, энергетикалық, көліктік, коммуналдық және әлеуметтік инфрақұрылым объектілері де зақымдаушы әсерге ұшырайды. Халықтың тіршілігін қамтамасыз ететін, аумақтардың орнықтылығын сақтайтын және азаматтық қорғаныс жүйелерінің жұмыс істеуін қамтамасыз ететін объектілерді қорғауға ерекше назар аударылған. Мақалада пассивті қорғаудың мәні ғимараттардың, құрылыстардың, негізгі өндірістік қорлардың, инженерлік коммуникациялар мен басқару жүйелерінің осалдығын төмендетуге бағытталған алдын ала дайындалатын инженерлік, ұйымдастырушылық, технологиялық, жоспарлау және қалпына келтіру іс-шараларының жиынтығы ретінде ашып көрсетілген. Пассивті қорғаудың негізгі қағидаттары айқындалған: алдын ала даярлық, кешенділік, сараланған тәсіл, негізделген жеткіліктілік, персоналды қорғаудың басымдығы, резервтеу, қайталама зақымдаушы факторлардың әсерін төмендету және қалпына келтіруге дайындық. Экономика объектісінің қорғалу деңгейін бағалауға арналған математикалық аппарат ұсынылған. Ол қорғалу коэффициентін, объектінің жекелеген элементтерінің зақымдану ықтималдығын және жұмыс істеу орнықтылығының интегралдық көрсеткішін айқындауға негізделген. Алынған ғылыми тұжырымдар қарулы қақтығыстар жағдайында экономика объектілерінің жұмыс істеу орнықтылығын арттыру жоспарларын әзірлеу кезінде пайдаланылуы мүмкін.

Түйінді сөздер: пассивті қорғау, экономика объектілері, қарулы қақтығыс, азаматтық қорғаныс, жұмыс істеу орнықтылығы, негізгі өндірістік қорлар, инженерлік қорғау, қайталама зақымдаушы факторлар, аса маңызды объектілер, ықтимал қауіпті объектілер, қалпына келтіру, резервтеу.

Zh. E. Zhaguparov¹, K. K. Kairbekov¹, M. S. Kuanyshbayev²

¹*Malik Gabdullin Academy of Civil Protection of the MES of the Republic of Kazakhstan,
Kokshetau, Kazakhstan*

²*National Defense University of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan*

PASSIVE PROTECTION OF ECONOMIC FACILITIES DURING ARMED CONFLICTS: PRINCIPLES AND APPROACHES

Abstract. The article examines the theoretical, organizational, engineering, and technical foundations of the passive protection of economic facilities during armed conflicts. The relevance of the study is determined by the changing nature of contemporary military threats, in which not only military targets but also industrial, energy, transport, public utility, and social infrastructure facilities are exposed to hostile impacts. Particular attention is paid to the protection of facilities that support the population's vital needs, territorial resilience, and the operation of civil defence systems. The article defines passive protection as a set of pre-planned engineering, organizational, technological, spatial-planning, and recovery measures aimed at reducing the vulnerability of buildings, structures, fixed production assets, utility networks, and management systems. The main principles of passive protection are identified as advance preparation, an integrated approach, differentiation, reasonable sufficiency, priority protection of personnel, redundancy, mitigation of secondary damaging factors, and readiness for recovery. A mathematical framework for assessing the protection level of an economic facility is proposed. It is based on determining the protection coefficient, the probability of damage to individual elements, and an integral indicator of operational resilience. The findings may be used in developing plans to enhance the operational resilience of economic facilities during armed conflicts.

Keywords: passive protection, economic facilities, armed conflict, civil defence, operational resilience, fixed production assets, engineering protection, secondary damaging factors, critical facilities, potentially hazardous facilities, recovery, redundancy.

Сведения об авторах / Information about the authors

Жагупаров Жаксылык Ерикович – доктор PhD, профессор кафедры защиты в чрезвычайных ситуациях Академии гражданской защиты имени М. Габдуллина МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан. E-mail: zhak_87_87@mail.kz

Каирбеков Кенесары Калейаскарович – кандидат военных наук, начальник кафедры защиты в чрезвычайных ситуациях Академии гражданской защиты имени М. Габдуллина МЧС Республики Казахстан, Кокшетау, Казахстан. E-mail: kenesar25.07@mail.ru

Куанышбаев Мурат Сапаргалиевич – кандидат технических наук, начальник кафедры гражданской защиты Национального университета обороны Республики Казахстан, Астана, Казахстан. E-mail: muratkuanyshbaev@gmail.com

Zhakslyk E. Zhaguparov – Doctor PhD, Professor Department of Protection in Emergency Situations, Malik Gabdullin Civil Protection Academy of the MES of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: zhak_87_87@mail.ru

Kenessary K. Kairbekov – Candidate of Military Sciences, Head of the Department of Protection in Emergency Situations, Malik Gabdullin Civil Protection Academy of the MES of the Republic of Kazakhstan, Kokshetau, Kazakhstan. E-mail: kenesar25.07@mail.ru

Murat S. Kuanyshbayev – Doctor of Philosophy (PhD), Head of the Civil Protection Department, National University of the Republic of Kazakhstan, Astana, Kazakhstan. E-mail: muratkuanyshbaev@gmail.com