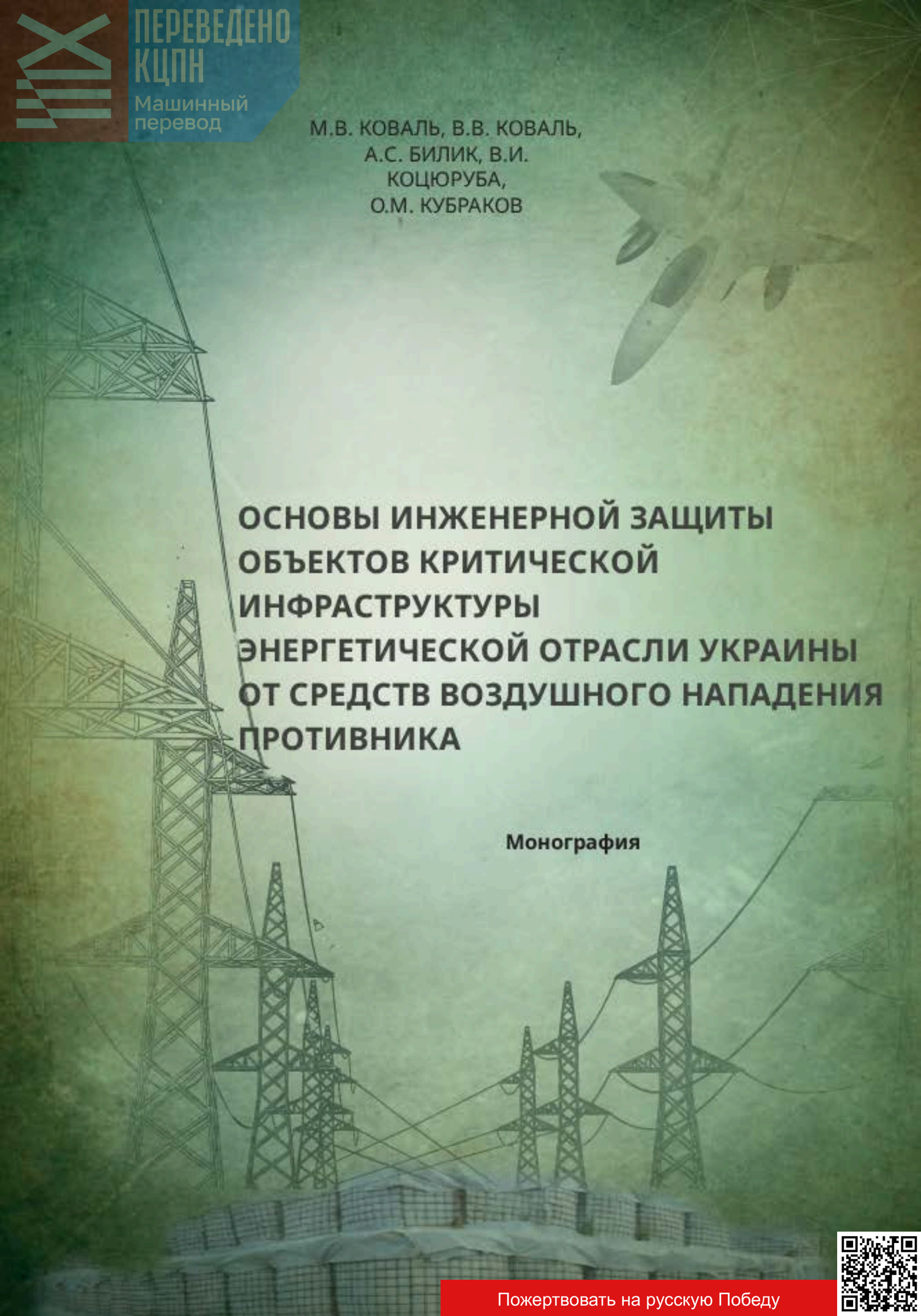
ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

М.В. КОВАЛЬ, В.В. КОВАЛЬ,
А.С. БИЛИК, В.И.
КОЦЮРУБА,
О.М. КУБРАКОВ



ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ УКРАИНЫ ОТ СРЕДСТВ ВОЗДУШНОГО НАПАДЕНИЯ ПРОТИВНИКА

Монография

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

МИНИСТЕРСТВО ОБОРОНЫ УКРАИНЫ
ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ШТАБ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ УКРАИНЫ

М.В. КОВАЛЬ, В.В. КОВАЛЬ, А.С. БИЛИК, В.И. КОЦЮРУБА, О.М. КУБРАКОВ

ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ УКРАИНЫ ОТ СРЕДСТВ ВОЗДУШНОГО НАПАДЕНИЯ ПРОТИВНИКА

МОНОГРАФИЯ



Издательство «Лира-К»,
Киев – 2023

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

УДК 340:007 (623.126, 624)
ББК 38.79 О72

Рецензенты: С.П. Бисик (доктор технических наук, профессор); О.А. Тугай (доктор технических наук, профессор); О.В. Савицкий (эксперт по вопросам энергетики и охраны окружающей среды)

О72 Основы инженерной защиты объектов критической инфраструктуры энергетической отрасли Украины от средств воздушного нападения противника: монография, / [М.В. Коваль, В.В. Коваль, А.С. Билык, В.И. Коцюруба, О.М. Кубраков]; под ред. А.С. Билыка. – К.: Генеральный штаб Вооруженных Сил Украины, 2023. – 185 с.

ISBN 978-617-520-660-7

В монографии раскрыты основные теоретические, методологические и практические аспекты инженерной защиты объектов критической инфраструктуры Украины.

Монография призвана помочь в решении вопросов оценки инженерной защиты объектов критической инфраструктуры и проектирования гражданскими и военными инженерами, содействовать принятию решений руководителями и лицами, ответственными за инженерное оборудование, а также может быть использована в качестве консультативного материала для подрядчиков, непосредственно выполняющих работы на объектах. Расчетные методики, изложенные в монографии, универсальны для разработки систем физической защиты от любых средств воздушного нападения противника кинетического действия.

За достоверность изложенных фактов, цитат и других сведений отвечают авторы.

Рекомендовано к печати решением Ученого совета Национального университета обороны Украины.

ISBN 978-617-520-660-7

© Министерство обороны Украины, 2023
© Генеральный штаб Вооружённых Сил Украины, 2023
© Национальный университет обороны Украины, 2023
© Издательство «Лира-К», 2023

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

СОДЕРЖАНИЕ

Список сокращений…….. 5
Введение……. 6
РАЗДЕЛ 1. ОБЪЕКТЫ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ УКРАИНЫ…….. 9
1.1 Структура и современное состояние энергетической отрасли Украины… 9
1.2. Элементный состав отдельных объектов – представителей основных объектов критической инфраструктуры энергетической отрасли….. 13
1.3. Нормативная база классификации и защиты критической инфраструктуры…… 24
1.4. Методики определения критичности элементов объектов критической инфраструктуры……. 31
РАЗДЕЛ 2. СРЕДСТВА ВОЗДУШНОГО НАПАДЕНИЯ ПРОТИВНИКА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ ОТРАСЛЬ УКРАИНЫ…… 36
2.1. Типология и характеристика угроз со стороны средств воздушного нападения Российской Федерации…… 36
2.2. Особенности и возможности нанесения воздушных ударов Российской Федерацией по критической энергетической инфраструктуре Украины……. 51
РАЗДЕЛ 3. СИСТЕМЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ ПО ПРИНЦИП «СТРАНА-КРЕПОСТЬ»……. 59
3.1. Ретроспективный обзор инженерной защиты объектов критической инфраструктуры …… 59
3.2. Концепция инженерной защиты объектов критической инфраструктуры по принципу «Страна-крепость»……... 67
3.3. Описание основных конструктивных решений первого уровня защиты…….. 70
3.4. Описание основных конструктивных решений второго уровня защиты…….. 76
3.5. Описание основных конструктивных решений третьего уровня защиты…….. 82
РАЗДЕЛ 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ УГРОЗ И ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ……. 88
4.1. Экспериментальные лабораторные исследования параметров беспилотных летательных аппаратов……. 88
4.2. Экспериментальные численные исследования предетонационных защитных экранов от попаданий беспилотных летательных аппаратов для сооружений второго уровня защиты…… 92
4.3. Экспериментальные численные исследования параметров ракетных угроз для сооружений третьего уровня защиты…… 97

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

4.4. Экспериментальные численные исследования защитных сооружений 102
третьего уровня защиты ……...
РАЗДЕЛ 5. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ ПО ПРИНЦИПУ «СТРАНА-КРЕПОСТЬ»…… 106
5.1. Определение расчетных сценариев и действий на конструкции защитных сооружений …… 106
5.2. Предварительное определение параметров защитных конструкций… 112
5.3. Определение воздействий основных факторов поражения ЗПН на несущие конструкции сооружений инженерной защиты объектов критической инфраструктуры…… 119
5.4. Общие положения проектирования и расчеты проведения отдельных элементов защиты…… 124
РАЗДЕЛ 6. ОЦЕНКА И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ…… 135
6.1. Технико-экономическое сравнение вариантов и принятия решений о выборе инженерного защиты для элементов объектов критической инфраструктуры……. 135
6.2. Примеры сравнительного экономического оценки жизненного цикла объектов критической инфраструктуры……. 145
6.3. Направления повышения эффективности и дальнейшего развития инженерной защиты объектов критической инфраструктуры от средств воздушного нападения противника……... 156
Послесловие…….. 165
Список источников…….. 169
Приложения…….. 178

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

Перечень условных сокращений

БПЛА – беспилотные летательные аппараты
БЧ – боевая часть
ВР – взрывчатое вещество
ВУХ – взрывно-ударная волна
ЖЦ – жизненный цикл
ЗПН средства воздушного нападения
ЗРК –зенитно-ракетный комплекс
ЗСУ – Вооруженные Силы Украины
ИЗ – инженерная защита
НПЗ – нефтеперерабатывающий завод
ОЭС – объединенная электроэнергетическая система
ОКИ – объекты критической инфраструктуры
ПВО – противовоздушная оборона
ПС – подстанция
РБ – Республика Беларусь
РЭБ – радиоэлектронная борьба
РЭР - радиоэлектронная разведка
РФ –Российская Федерация
СНЕ – система накопления энергии
ЧПЕ - частично проницаемый экран

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

Настоящая защита воина заключается не в количестве его щитов,
а в отсутствии уязвимых мест.
Д. Хуан Матус

Введение

Вооруженный конфликт с Российской Федерацией стал самым серьезным вызовом для национальной безопасности Украины за все время ее независимости. В результате атак на территорию Украины уже пострадало достаточно большое количество объектов критической инфраструктуры, в частности энергетической отрасли Украины – электроэнергетической, газотранспортной систем и нефтедобывающей промышленности топливно-энергетического комплекса Украины. Долгое время главной возможной угрозой военного времени для национальной инфраструктуры считались факторы ядерных ударов на определенном расстоянии от объектов критической инфраструктуры, при этом системы защиты были сосредоточены прежде всего на обеспечении безопасности населения и работников от воздействия ионизирующего излучения и давления ударной волны. В XXI веке, особенно после начала военных действий Российской Федерации против нашего государства в 2014 году, основными типами угроз для объектов критической инфраструктуры стали террористические акты, диверсии, саботаж и кибератаки, что вызвало необходимость соответствующих изменений в архитектуре безопасности и устойчивости объектов критической инфраструктуры.

Полномасштабное вторжение Российской Федерации на территорию Украины в феврале 2022 года сопровождается как традиционными, так и новейшими угрозами, прежде всего применением высокоточных средств воздушного нападения противника — ракет и беспилотных летательных аппаратов. Ключевыми характеристиками высокоточных средств воздушного нападения являются их разнообразие и интенсификация применения, избирательное поражение боеприпасами важнейших критических элементов объектов критической инфраструктуры, изменчивая комбинированная тактика их применения страной-агрессором, попытки введения в заблуждение и т. п. Военная агрессия Российской Федерации носит признаки затяжной войны, а победа Украины в войне означает не только возвращение захваченных территорий, но и создание системы безопасности, минимизирующей факторы возникновения возможных угроз в будущем [1].

Поскольку ни одна страна еще не сталкивалась с подобными масштабами разрушения объектов на своей территории, количеством и мощностью атак по сравнению с тем, что происходит в Украине, можно говорить, что задача защиты национальной инфраструктуры такого уровня поставлена впервые. С первых дней полномасштабного вторжения над его решением работают различные учреждения, организации, определенные ответственные органы, рабочие группы и т. д. Очевидно, что неизбежное восстановление страны как в условиях военного положения, так и после нашей победы будет происходить с учётом требований по обеспечению максимального сохранения ключевых функций объектов критической инфраструктуры в условиях постоянных военных угроз — как

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

прямых, так и косвенных [1]. Такие вызовы требуют асимметричных ответов, долгосрочной концепции и системных программ обеспечения безопасности на государственном уровне. Предполагается, что построение эффективной системы защиты объектов критической инфраструктуры является одной из наиболее приоритетных задач государства. К сожалению, на момент написания данной работы говорить о достаточном уровне защиты критической инфраструктуры пока преждевременно. Решение вопроса защиты национальной инфраструктуры, несомненно, должно быть комплексным и включать как активную, так и пассивную защиту.

На сегодняшний день рассматриваемая проблема носит общемировой характер, поскольку применение средств воздушного нападения Российской Федерации по объектам критической инфраструктуры Украины не имеет аналогов по масштабам, демонстрируя тенденции и вызовы войн будущего. Лучшие системы активной защиты и противовоздушной обороны, разработанные к настоящему времени в мире, имеют технологический порог эффективности применения в случае обезвреживания высокоточных, дальнобойных и мощных средств воздушного нападения противника. Следовательно, основу безопасности объектов критической инфраструктуры должны составлять их децентрализация, резервирование и пассивная физическая защита, то есть совокупность мер по инженерному оборудованию элементов объектов критической инфраструктуры для повышения их живучести, безопасности персонала и устойчивого функционирования государства в интересах обеспечения жизненных потребностей общества [2].

В соответствии с актуальными вызовами авторами монографии разработана новая концепция построения перспективной системы инженерной защиты объектов критической инфраструктуры по принципу «Страна-крепость», призванная обеспечить интегральную защиту территории, объектов, граждан и общества в целом от актуальных угроз, стать составной частью национальной безопасности Украины [3]. На практике это означает, прежде всего, прикрытие объектов критической инфраструктуры, гражданскую защиту, устойчивость систем жизнеобеспечения, безопасность городской среды и т. п. Концепция построения перспективного инженерного оборудования объектов критической инфраструктуры основана на понимании явлений и процессов применения противником средств воздушного нападения и содержит совокупность взглядов на специфику, объемы и организацию выполнения мероприятий по защите важнейших элементов объектов критической инфраструктуры [4].

Объекты критической инфраструктуры энергетической отрасли Украины являются одними из приоритетных целей противника. Кроме того, для современной экономики энергетическая отрасль является основой промышленности, связи и, в конечном счёте, напрямую влияет на эффективность ведения боевых действий [15]. Именно поэтому материалы монографии направлены на определение основ инженерной защиты объектов критической инфраструктуры энергетической отрасли от средств воздушного нападения Российской Федерации. Написанная в течение 2022–2023 годов, монография, безусловно, отражает состояние понимания вопроса в условиях активных военных действий противника на территории Украины, описывает основные факторы угроз и возможности защиты. В ней также описаны вероятные средства воздушного

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

нападения и перспективные меры защиты от них. Можно с уверенностью сказать, что общие принципы защиты останутся актуальными на протяжении многих лет как в военное, так и в мирное время. Монография призвана помочь при оценке защиты объектов критической инфраструктуры и их проектировании гражданскими и военными инженерами, служить поддержкой при принятии решений руководителями и специалистами, ответственными за инженерное оборудование, а также консультативным материалом для подрядчиков, выполняющих непосредственные работы по инженерной защите на объектах. Расчетные методики, изложенные в монографии, универсальны для разработки защитных инженерных систем от любых средств воздушного нападения противника кинетического действия.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

РАЗДЕЛ 1. ОБЪЕКТЫ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ УКРАИНЫ

1.1. Структура и современное состояние энергетической отрасли Украины

Энергетика Украины – это совокупность отраслей экономики нашей страны, которые используют энергетические ресурсы для выработки, преобразования, передачи и распределения энергии; объединения электроэнергетической, газовой и нефтяной отраслей Украины.

Электроэнергетика — базовая отрасль экономики Украины, одна из старейших в стране. Выработка электроэнергии основана на атомной энергетике, сжигании угля, мазута, природного газа, биотоплива, а также на использовании возобновляемых источников энергии: ветра, воды и солнца.

Основу централизованной электрогенерации в Украине (рис. 1.1) составляют атомные электростанции (АЭС), тепловые электростанции (ТЭС), теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), гидроэлектростанции (ГЭС) и гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС).

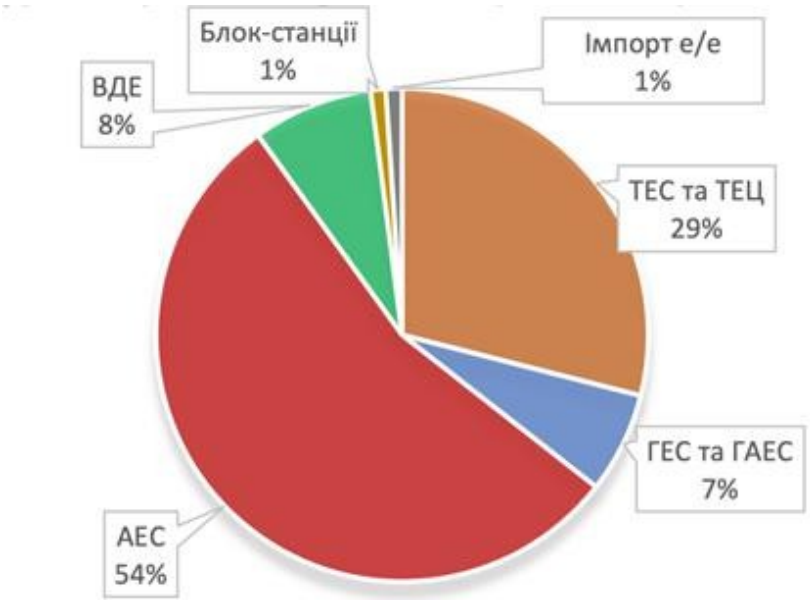


Рис. 1.1. Структура источников электроэнергетики Украины по состоянию на 2022 год [6]

К 2022 году в объединенной энергосистеме Украины функционировали 4 атомные электростанции, 15 ТЭС и 43 ТЭЦ, 8 крупных гидроэлектростанций и 3 ГАЭС [7].

Крупнейшие ТЭС расположены в Донецкой области (Углегорская, Старобешевская, Кураховская, Зуевская и др.), Приднепровье (Приднепровская, Криворожская), в Харьковской (Змиевская), Киевской (Трипольская), Ивано-Франковской (Бурштынская) и Львовской (Добротворская) областях. Теплоэлектроцентрали расположены в черте городов, производят тепло и обеспечивают работу центрального отопления в осенне-зимний период. Теплоэлектроцентрали являются особенно важными объектами критической инфраструктуры областных центров и г. Киева. В гидроэнергетике особое значение играет каскад ГЭС на Днепре: ДнепроГЭС, Каховская,

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН

Кременчугская, Киевская, Каневская, Среднеднепровская. ГЭС построены также на Днестре (Днестровская), Росе, в Закарпатской области (Теребле-Рицкая). Частично реализован Южнобугский каскад ГЭС. Важное значение в структуре источников электроэнергетики Украины играют АЭС: Южноукраинская, Ровенская, Хмельницкая, Запорожская [8].

В течение 2016–2021 годов благодаря стимулирующему «зеленому тарифу» активно развивалась возобновляемая энергетика. В мае 2021 года была запущена первая в Украине промышленная литий-ионная система накопления энергии (СНЕ) мощностью 1 МВт и емкостью 2,25 МВт·ч. Однако в настоящее время более 50 % электроэнергии в Украине производят АЭС. Теплоэлектростанции играют основную роль в обеспечении электроэнергией в полупиковые часы и, совместно с ГЭС и ГАЭС, в пиковые часы [9] (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Электростанции Украины фактической мощностью более 50 МВт

Помимо генерации, важной составляющей энергетической отрасли Украины является транспортировка и распределение энергии, обеспечиваемые распределительными станциями, линиями электропередач, хранилищами, трубопроводами, железнодорожными путями и т. п. Также имеют существенное значение места добычи энергоресурсов, переработки, складирования сырья, хранения и захоронения отходов.

Основой электроэнергетики страны является Объединенная электроэнергетическая система, которая осуществляет централизованное электроснабжение внутренних потребителей. Объединенная электроэнергетическая система взаимодействует с энергосистемами соседних государств, обеспечивает экспорт и импорт электроэнергии. В её состав входят четыре территориальных управления:

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Нашими Руками

Северное, Восточное, Южное, Западное. Объединенная электроэнергетическая система Украины представляет собой сеть внутренних и межгосударственных линий электропередачи и подстанций напряжением 220–750 кВ.

По состоянию на 2020 год установлены следующие мощности энергетики Украины**:**

АЭС — 13,8 ГВт;

ТЭС – 21,8 ГВт;

ТЭЦ– 6,1 ГВт;

возобновляемые источники — 6,7 ГВт;

ГЭС/ГАЭС — 6,3 ГВТ.

Производство электроэнергии обеспечивают крупнейшие владельцы тепловых электростанций — ДТЭК, «Центрэнерго», гидроэлектростанций — «Укргидроэнерго», атомных электростанций — «Энергоатом». Транспортировку электроэнергии от производителей к распределительным компаниям осуществляет оператор системы передачи — Национальная энергетическая компания «Укрэнерго». Распределяют электроэнергию потребителям 32 оператора систем распределения. Крупнейшими по установленной мощности и годовому производству электроэнергии являются атомные электростанции: Запорожская — 6000 МВт, Южноукраинская — 3000 МВт, Ровенская — 2880 МВт, Хмельницкая — 2000 МВт.

Начало войны в 2014 году сильно сказалось на энергетике Украины, и значительная часть энергетических объектов, ресурсной базы и систем распределения была утрачена на временно оккупированных территориях Крыма, в частях Донецкой и Луганской областей; в частности, зимой 2014 года были нанесены отдельные удары по ОКИ Украины в местах боевых действий.

До начала 2022 года ОЭС Украины работала синхронно (параллельно) с энергетическими системами Беларуси, РФ, Молдовы, а одна её отдельная часть — Бурштынский энергоостров — с объединенной энергетической системой континентальной Европы ENTSO-E. Это позволяло экспортировать электроэнергию как в восточном, так и в западном направлениях.

Полномасштабная агрессия РФ, в том числе с территории подконтрольной ей Беларуси, обусловила необходимость значительных организационно-технических изменений в энергетике Украины. Так, 24 февраля 2022 года Национальная энергетическая компания «Укрэнерго» отсоединила украинскую энергосистему от сетей РФ и Беларуси. 16 марта 2022 года энергосистемы Украины и Молдовы были полностью синхронизированы с энергосетью континентальной Европы ENTSO-E [10]. Согласно сообщению пресс-службы Министерства энергетики Украины от 08.04.2023, энергетические ведомства Украины и США совместно в рамках инициативы «Net Zero World» приступили к подготовке программы сотрудничества по развитию украинского энергетического сектора.

Газовая промышленность — это отрасль топливной промышленности. Её основная задача — добыча и разведка природного газа, производство биометана и синтетического метана, газоснабжение по газопроводам, накопление и сезонное хранение в хранилищах, переработка газа, использование его в различных отраслях промышленности и коммунально-бытовом хозяйстве. Среди

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

важнейших задач предприятий газовой отрасли — транспортировка и учет газа [11].

Газотранспортная система Украины включает 36 тыс. км магистральных газопроводов различного назначения и производительности, 71 компрессорную станцию (122 компрессорных цеха), более 1600 газораспределительных станций, 12 подземных хранилищ газа. В Украине находится одна из крупнейших в мире газотранспортных систем с крупнейшим в Европе после России активным объемом газа — более 32 млрд $м^3$, или 21,3 % от общеевропейской активной емкости. Газотранспортная система выполняет две основные функции: обеспечение природным газом внутренних потребителей, а также транзит природного газа через территорию Украины в страны Западной и Центральной Европы.

Система транспортировки газа состоит из газопроводов различных типов (магистральных, распределительных, перемычек); подземных хранилищ газа, газораспределительных станций, газорегуляторных пунктов, компрессорных станций, участков подводов и отводов.

Такая сложная газотранспортная система рассчитана на выполнение полного комплекса операций по добыче, хранению, транспортировке и распределению газа [12; 13].

Нефтедобывающая промышленность Украины — это отрасль топливной промышленности, предприятия которой разведывают и добывают нефть и нефтяной газ, а также транспортируют и хранят нефть. Нефть и нефтяной газ — важное сырьё для химической и нефтехимической промышленности.

Нефтеперерабатывающая промышленность — это отрасль топливной промышленности, предприятия которой из сырой нефти производят различные нефтепродукты. Основной продукцией нефтеперерабатывающей промышленности являются топливо для карбюраторных (авиационный и автомобильный бензины), реактивных (авиационный керосин), дизельных (дизельное топливо) двигателей, котельное топливо (мазуты), моторные масла, специальные битумы, парафины, кокс для электродной промышленности, смазочные материалы и т. п., всего — более 300 наименований [14]. Продукцию нефтеперерабатывающей промышленности также используют предприятия нефтехимической промышленности.

На оккупированных в ходе войны с РФ территориях остались объекты генерации и распределения электроэнергии, а главное — источники ресурсов добычи угля, природного газа, нефти, ядерного топлива, пути транспортировки наземным, речным и морским транспортом, что крайне негативно сказалось на энергетике Украины.

Часть объектов уже освобождена в ходе контрнаступления сил обороны Украины, в частности объекты хранения и захоронения отходов ядерной энергетики в Чернобыльской зоне, часть распределительной инфраструктуры в Харьковской и Херсонской областях. Однако по состоянию на конец 2023 года значительная часть энергосистемы Украины остается под временным контролем противника. Наибольшую угрозу представляет оккупация вооруженными силами РФ Каховской ГЭС, Запорожской ТЭС и Запорожской АЭС, которые, помимо непосредственного ведущего участия в энергогенерации Украины, являются

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

объектами повышенной техногенной и экологической опасности. В настоящее время указанные объекты используются противником в террористических целях, подвергаются обстрелу со стороны РФ, на них вопреки международным конвенциям размещены военнослужащие РФ, взрывоопасные предметы и т. п. Также сохраняется риск нанесения ударов средствами воздушного нападения (СВН) противника по газопроводам, хранилищам топлива и т. п., которые могут привести к техногенным авариям и загрязнению окружающей среды.

Значительная часть объектов энергосистемы Украины подвергается регулярным обстрелам противника, в том числе в глубине территории, высокоточными средствами воздушного нападения. По оценке Еврокомиссии, в настоящее время повреждения объектов энергетики Украины приближаются к критическому пределу [15]. Особенностями объектов энергетической отрасли Украины, обусловливающими её уязвимость перед СВУ противника, можно назвать следующие:

- устарелость парка объектов, значительный моральный и технический износ, необходимость ремонта и обновления оборудования. Советская конструкция, общая на то время сфера проектирования, производства и использования объектов обусловливают высокий уровень осведомленности противника и могут быть использованы для нападения;
- значительная централизованность, использование больших мощностей и высоких напряжений (330 кВ, 440 кВ, 750 кВ) на станциях электрогенерации и передачи, что обусловливает сложность и длительность ремонтов, замены элементов на объектах;
- географическое расположение большого количества объектов непосредственно вблизи основных направлений ударов противника, линии соприкосновения и в целом на открытых территориях, что делает их уязвимыми для нападения с воздуха;
- низкая степень использования альтернативных, локальных, распределенных и диверсифицированных источников энергии;
- неготовность объектов и системы в целом к угрозам военного времени, отсутствие надлежащей активной и пассивной защиты, устаревание и чрезмерная централизация инфраструктуры.

Далее рассмотрим принципиальные технологические схемы **основных объектов критической инфраструктуры энергетической отрасли** и их наиболее важные элементы.

1.2. Элементный состав отдельных объектов — представителей основных объектов критической инфраструктуры энергетической отрасли

Опишем поочередно возможные критические элементы для отдельных типов объектов основной критической инфраструктуры энергетической отрасли.

Атомные электростанции (АЭС) Украины имеют энергоблоки мощностью 1000 МВт и 440 МВт, при этом каждый реакторный блок расположен в отдельном здании, имеет герметичную оболочку и собственные системы защиты. Турбины и генераторы могут располагаться в общем

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

турбинном цехе. Основными компонентами энергоблока атомной электростанции являются (рис. 1.3):

1) реактор — основная часть электростанции, которая вырабатывает тепловую энергию путем ядерного деления;

2) турбины, которые используются для преобразования тепловой энергии, вырабатываемой в реакторе, в механическую энергию. Это важная и дорогостоящая составляющая, поскольку турбины содержат много высокотехнологичных элементов;

3) генераторы, предназначенные для преобразования механической энергии, создаваемой турбинами, в электрическую энергию;

4) блочные трансформаторы — устройства, преобразующие (повышающие) напряжение и обеспечивающие подачу электроэнергии от генераторов станции в высоковольтную сеть через линии электропередачи;

5) пульт управления и контрольно-измерительные системы — используются для управления работой станции и обеспечения безопасности её эксплуатации. В такие системы могут входить компьютеры, сети, серверы, а также радиационные, температурные, давление и другие датчики, которые помогают выявлять и контролировать любые отклонения в работе электростанции;

6) система охлаждения реактора и других частей электростанции;

7) системы безопасности, помогающие предотвратить чрезвычайные ситуации во время эксплуатации атомной электростанции — системы раннего предупреждения об авариях, системы эвакуации и спасения, системы защиты от радиации и другие;

8) места хранения ядерного топлива и отходов. Эти элементы не оказывают прямого влияния на работу АЭС, но их повреждение может привести к значительным экологическим последствиям и повлиять на состояние здоровья персонала.

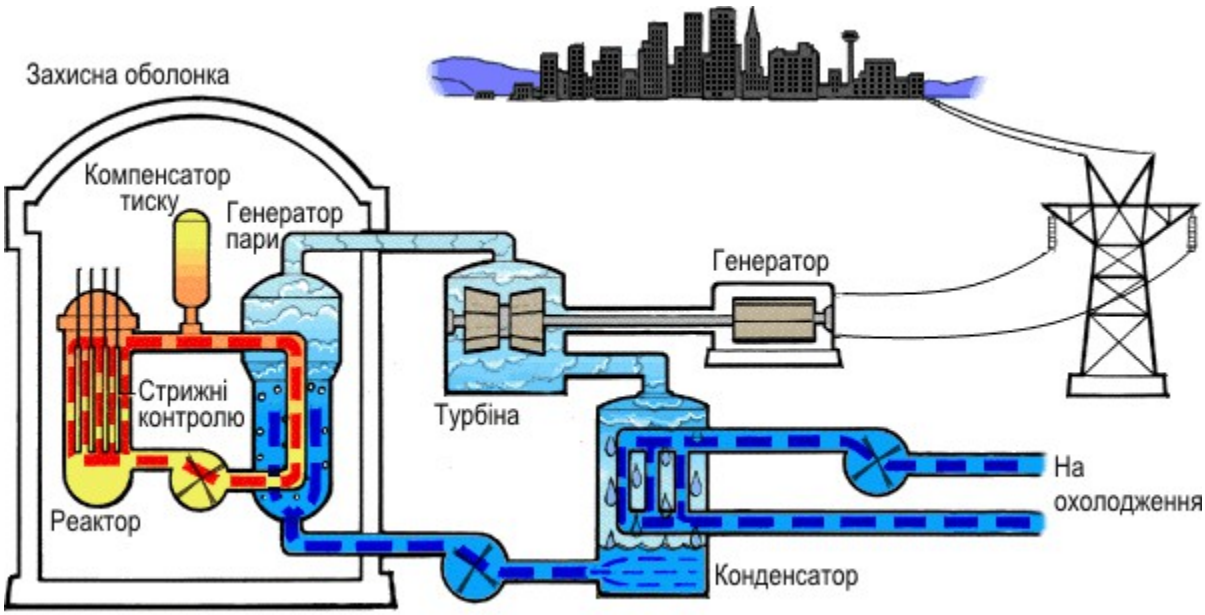


Рис. 1.3. Принципиальная технологическая схема работы атомной электростанции

Наиболее критические элементы атомной электростанции – это реактор, турбины, генератор, трансформаторы и контрольно-измерительные системы с

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

пунктом управления. Именно эти элементы требуют первоочередной инженерной защиты.

Тепловые электростанции (ТЭС) Украины построены по блочному принципу. Энергоблоки мощностью 100, 150, 200 и 300 МВт расположены по два-четыре в пределах общих сооружений. Часть ТЭС имеет по 2 или 3 очереди — отдельные здания, введенные в эксплуатацию в разные периоды. В нашей стране используются угольные энергоблоки ТЭС, которые в качестве вспомогательного или резервного топлива могут сжигать мазут и газ. Также эксплуатируется небольшое количество газовых энергоблоков ТЭС.

Тепловые электростанции, работающие на угле, функционируют по принципу использования тепла, выделяемого при сгорании угля, для преобразования воды в пар и вращения турбин, приводящих в движение генератор, который вырабатывает электроэнергию.

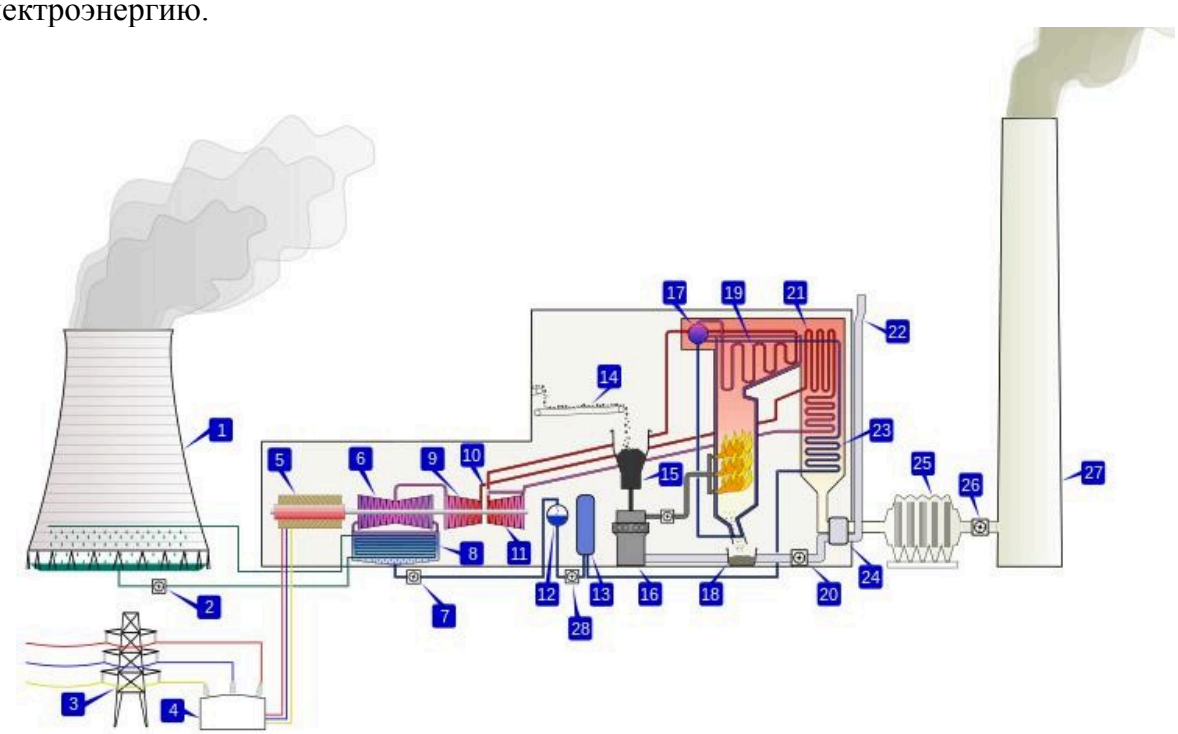


Рис. 1.4**.** Принципиальная технологическая схема работы тепловой электростанции на угле [16]: 1 – Охладитель пара; 2 и 7 – Водяные насосы; 3 – Высоковольтная линия; 4 – Повышающий трансформатор; 5 – Электрический генератор (3-фазный); 6 – Турбина низкого давления; 8 – Конденсатосборник; 9 – Турбина среднего давления; 10 — Клапан регулирования пара; 11 — Паровая турбина высокого давления; 12 — Водяной дозатор; 13 — Водяной нагреватель; 14 – Конвейер для угля; 15 – Бункер для угля; 16 – Угольный пульверизатор; 17 – Паровой котёл; 18 – Бункер для золы; 19 – Главный контур теплообменника; 20 – Насос горячего воздуха; 21 – Вторичный контур теплообменника; 22 – Входная труба для воздуха; 23 – Первичный контур теплообменника; 24 – Воздушный теплообменник; 25 – Фильтрующая установка; 26 – Вытяжной вентилятор; 27 – Дымовая труба

Основными элементами тепловой электростанции, работающей на угле, являются (рис. 1.4):

1) Котлы, в которых происходит сгорание угля и преобразование воды в пар.

2) Турбины, которые используются для преобразования тепловой энергии, произведенной в котлах, в механическую энергию.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН

3) Генераторы, которые преобразуют механическую энергию, создаваемую турбинами, в электрическую.

4) Трансформаторы и распределительные устройства — электротехническое оборудование, обеспечивающее подачу электроэнергии от генераторов станции в высоковольтную сеть через линии электропередачи.

5) Система подачи топлива — включает угольные склады, транспортные средства для перевозки угля, системы подготовки и транспортировки его к котлам.

6) Система подачи резервного/вспомогательного топлива – включает емкости для мазута, трубопроводы, топливные насосы и другие компоненты, необходимые для подачи жидкого топлива в котлы.

7) Система очистки выхлопных газов – обеспечивает сокращение выбросов в атмосферу, а также улавливание вредных веществ.

8) Система охлаждения турбин и других частей электростанции.

9) Пульт управления и контроля за работой станции.

Тепловые электростанции на природном газе работают по принципу использования газа, который сгорает в газовых турбинах или котлах, преобразуя тепло в механическую энергию, чтобы в дальнейшем использовать её для генерации электроэнергии.

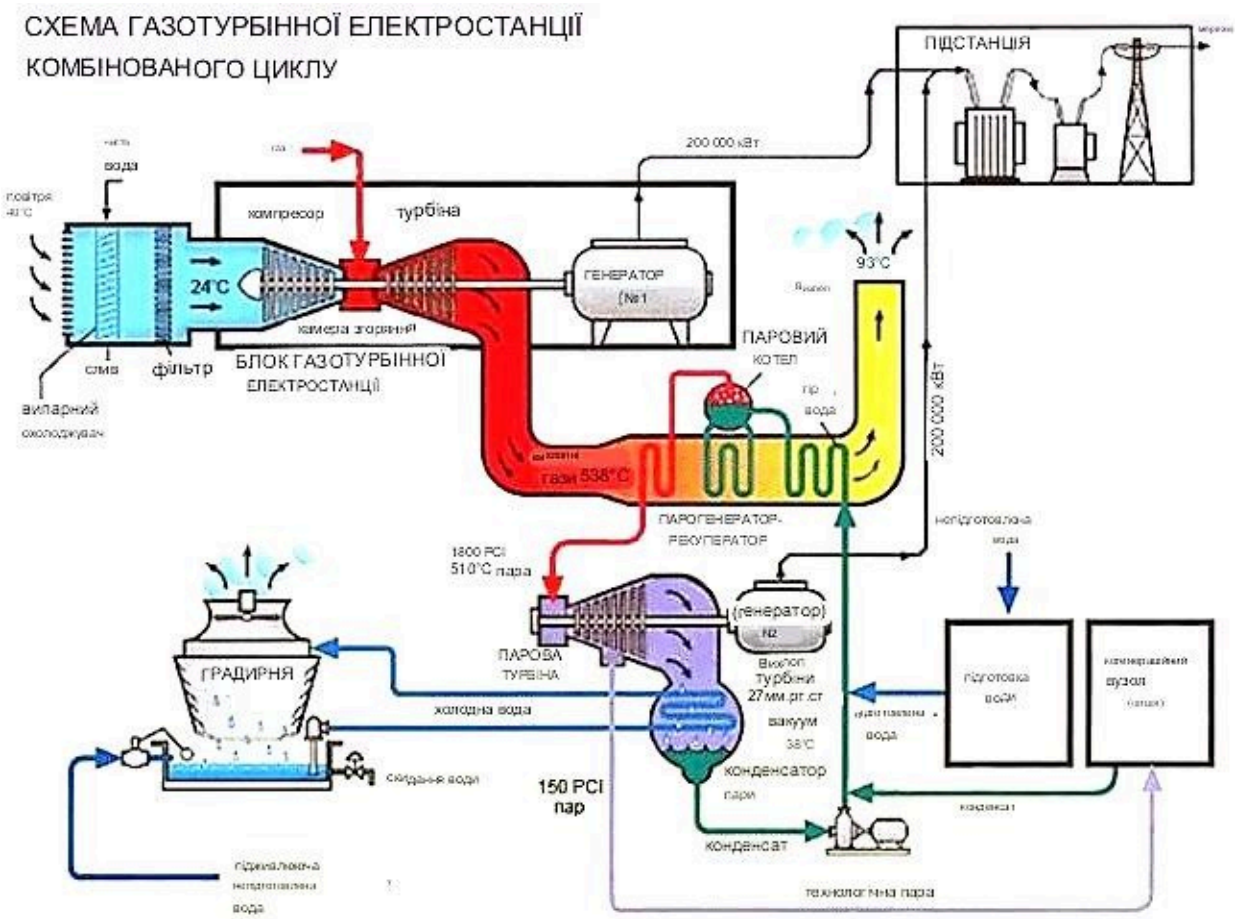


Рис. 1.5. Принципиальная технологическая схема работы тепловой электростанции на газе

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

Основными элементами тепловой электростанции, работающей на природном газе, являются (рис. 1.5):

1) Газовые турбины или котлы, в которых происходит сгорание газа и преобразование тепла в механическую энергию.

2) Генераторы, которые преобразуют механическую энергию, создаваемую газовыми турбинами или котлами, в электрическую энергию.

3) Трансформаторы и распределительные устройства — электротехническое оборудование, обеспечивающее подачу электроэнергии от генераторов станции в высоковольтную сеть через линии электропередачи.

4) Системы подачи газа, включающие в себя газовые трубопроводы, компрессорные станции и другие компоненты, необходимые для подачи газа к газовым турбинам или котлам.

5) Системы очистки газа от загрязняющих веществ, таких как сернистый газ, аммиак, оксиды азота и т. д.

6) Системы охлаждения газовых турбин и других частей электростанции.

7) Пульт управления и контроля за работой станции.

На мультитопливных ТЭС используют как уголь, так и газ, мазут или другие источники топлива, которые в совокупности содержат компоненты важных элементов из перечисленных выше. Большинство энергоблоков ТЭС Украины являются мультитопливными.

Наиболее важными элементами тепловой электростанции являются котлы, в которых происходит сгорание топлива, турбины, генераторы, трансформаторы и пункты управления.

Теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) — это тепловая электростанция, которая одновременно производит электроэнергию и тепло в виде горячей воды и пара. При этом тепло и пар могут использоваться как для промышленности, так и для бытовых нужд (централизованного отопления и горячего водоснабжения).

Наиболее критические элементы, входящие в состав тепловой теплоэлектроцентрали, включают элементы ТЭС, перечисленные выше, а также добавленное к ним оборудование контуров отвода теплоносителей для теплового снабжения потребителей, что необходимо учитывать при проектировании инженерной защиты.

Гидроэлектростанции (ГЭС) — это электростанции, которые с помощью гидротурбин преобразуют потенциальную кинетическую энергию воды, удерживаемой плотиной, в вращательное движение генераторов, производящих электрическую энергию. Гидроэлектростанцию, здание которой является частью плотины, называют русловой (например, Кременчугская, Киевская ГЭС). Если здание расположено отдельно, у основания плотины на противоположной от водохранилища стороне, такую ГЭС называют приплотинной (например, ДнепроГЭС).

Наиболее важными элементами гидроэлектростанции являются (рис. 1.6):

1) Гидротурбины – основные компоненты генераторов электроэнергии, обеспечивающие преобразование энергии движения воды в электрическую энергию.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН

2) Регулирующие затворы – подвижные части плотин, контролирующие уровень воды в водохранилище и регулирующие поток воды к турбинам.

3) Генераторы – устройства, преобразующие механическую энергию, вырабатываемую турбинами, в электрическую энергию.

4) Плотины – сооружения, обеспечивающие создание водохранилища и регулирующие поток воды к турбинам.

5) Трансформаторы — устройства, преобразующие напряжение электроэнергии до уровня, пригодного для передачи по линиям электропередачи.

6) Управляюще-измерительный пункт — системы управления станцией, приборы, измеряющие и контролирующие параметры её работы, такие как давление, температура, уровень воды, мощность и эффективность генераторов.



Рис. 1.6**.** Принципиальная технологическая схема работы гидроэлектростанции

Гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС) — гидроэлектростанции, которые используются для выравнивания суточного графика нагрузки энергосистемы за счет способности накапливать, хранить и высвобождать потенциальную энергию воды. В зависимости от состояния производства электроэнергии в энергосистеме ГАЭС может выступать как в качестве экстренного генератора электроэнергии, так и в качестве потребителя, выполняющего важную функцию балансирования работы энергосистемы (рис. 1.7).

Гидроаккумулирующие электростанции с реверсивными гидроагрегатами, работающие как генераторы тока или водяные насосы, в часы низкого потребления электроэнергии перекачивают воду из водохранилища в верхний бассейн, а в часы пиковых нагрузок — сбрасывают накопленную воду и вырабатывают энергию как обычные ГЭС (например, Киевская ГАЭС, Днестровская ГАЭС).

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

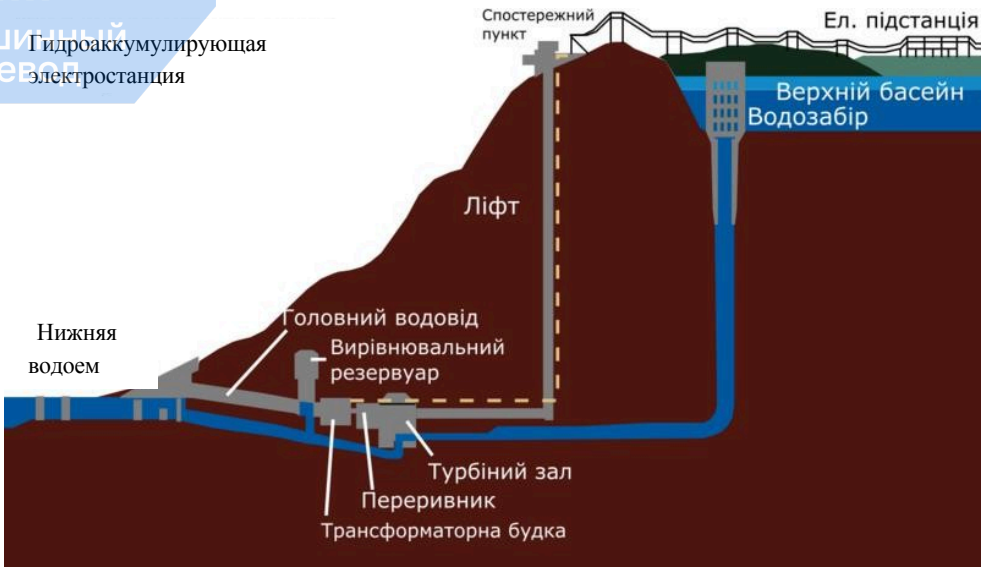


Рис. 1.7. Принципиальная технологическая схема работы ГАЭС

Наиболее критические элементы гидроаккумулирующей электростанции практически идентичны таким же элементам ГЭС, однако с учетом гидросооружений, расположенных на возвышенности, и технологической цепочки закачки воды для аккумулирования энергии — электродвигателей, запорных заслонок и т. д.

Таким образом, мы описали все основные критические элементы станций генерации электроэнергии. Важно отметить, что конкретные элементы и их характеристики могут зависеть от конструкции и типа ОКИ. Общими уязвимыми элементами для АЭС, ТЭС, ГЭС и ГАЭС являются блочные трансформаторы. Отказ блочного трансформатора на электростанции прерывает подачу мощности генератора и останавливает работу энергоблока.

При проектировании инженерной защиты ОКИ следует также учитывать, что противник может наносить удары не по генерирующим устройствам, а по распределительным устройствам, по узлам электрической сети или смежной инфраструктуре, например линиям электропередачи, системам снабжения ОКИ необходимыми материалами, топливом, местам складирования или вывоза отходов за пределы ОКИ.

Распределительные подстанции — это электроустановки, предназначенные для преобразования и распределения электрической энергии. В зависимости от назначения подстанции могут быть трансформаторными (ТП) или преобразовательными (ПП). Трансформаторные подстанции предназначены для преобразования электрической энергии одного напряжения в энергию другого напряжения с помощью трансформаторов. Преобразующие подстанции предназначены для преобразования вида тока или его частоты. Электрическое распределительное устройство, не входящее в состав подстанции, называют распределительным пунктом (рис. 1.8).

По месту размещения подстанции подразделяются на открытые, оборудование которых расположено на открытых площадках, и закрытые, оборудование которых расположено в зданиях или сооружениях. При этом электроподстанции могут располагаться в закрытых помещениях (ЗТП — закрытая трансформаторная подстанция), под землей и на опорах (ЩТП — мачтовая

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

трансформаторная подстанция) или в специальных помещениях зданий-потребителей [17].

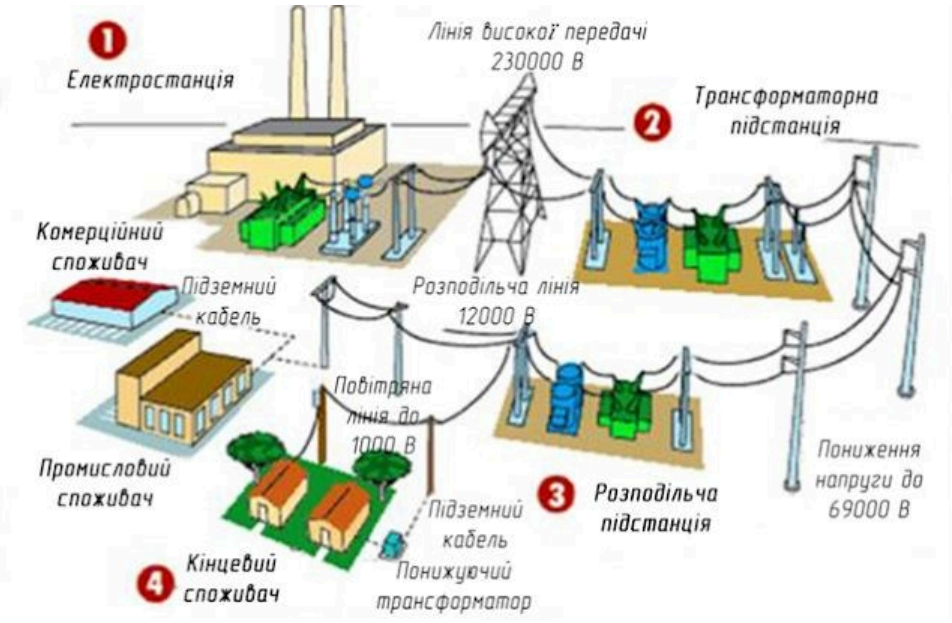


Рис. 1.8. Принципиальная технологическая схема работы централизованной каскадной энергосистемы и место в ней передающих (2) и распределительных (3) подстанций

Наиболее критическими элементами электрических подстанций обычно являются (рис. 1.9):

1) Трансформаторы, автотрансформаторы, силовые автотрансформаторы, трансформаторы собственных нужд. Их используют для преобразования напряжения на различных уровнях сети, и они являются одними из наиболее критических компонентов. Отказ трансформатора может привести к падению мощности и значительным перебоям в электроснабжении потребителей.

2) Общеподстанционный пункт управления — включает системы безопасности и контроля, автоматические защитные механизмы, которые отключают электрическую сеть в случае обнаружения неисправностей или чрезмерной нагрузки; коммуникационные системы, обеспечивающие связь с операторами и контрольно-измерительными приборами для эффективного управления подстанцией и выявления неполадок. Контрольно-измерительные приборы фиксируют параметры электрической сети (напряжение, ток, мощность и другие характеристики), их точность важна для эффективного управления электроснабжением.

3) Гибкие системы передачи переменного тока (ГЗПЗ / FACTS) — устройства мощной силовой электроники, объединенные с электротехническим оборудованием (конденсаторными батареями, шунтирующими реакторами), позволяющие увеличить пропускную способность сети, снизить потери электроэнергии при ее преобразовании, улучшить качество электроэнергии.

4) Открытые распределительные устройства и установки — используются для распределения электроэнергии по различным ветвям сети, они должны быть надёжными и способными выдерживать большие нагрузки. В состав распределительных установок

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

входят выключатели, разъединители, трансформаторы тока и напряжения, измерительные приборы, сборные шины, разрядники, электрические реакторы.

5) Релейная защита и автоматика оборудования – используются для контроля за электроснабжением, переключения на изолированные участки и автоматического отключения в случае неисправности. Играют важную роль в обеспечении защиты сети.

6) Компрессорные станции — установки для обеспечения сжатым воздухом основного оборудования (выключателей).



а *б* *в* *г*

Рис. 1.9**.** Характерные элементы подстанций: *а* – общеподстанционный пункт управления; *б* – шунтирующий реактор; *в* – релейная защита; *г* – открытые распределительные устройства

К объектам критической **газовой инфраструктуры** относятся, прежде всего, компрессорные станции, газораспределительные станции, хранилища газа, газовые скважины, предприятия по переработке газового конденсата. Хранилища газа могут быть наземными или подземными (ПХГ), которые наиболее распространены в Украине. Наиболее критическими элементами объектов газовой промышленности обычно являются (рис. 1.10):

1) Оборудование для добычи и переработки газа и конденсата, включающее газопроводы, трубопроводы и емкости для конденсата, компрессорные станции и трансформаторы.

2) Центральные пункты управления — включают диспетчерские и операторские, предназначенные для общего управления технологическими процессами предприятия.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинний переклад

3) Газотурбинные агрегаты — наружные сооружения в блочно-контейнерном исполнении, главный технологический узел для перекачки природного газа.

4) Узлы очистки газа – на газораспределительных станциях (ГРС) предназначены для предотвращения попадания механических примесей и жидкостей в технологические трубопроводы, оборудование, средства контроля и автоматики ГРС, а также в выходные газопроводы после ГРС.

5) Теплообменники, аппараты воздушного охлаждения, представляющие собой систему взаимосвязанных технологических аппаратов тепловой подготовки и тепломассообмена.

6) Блоки подготовки топливного, пускового и импульсного газа; газосепараторы; установки комплексной подготовки, предназначенные для подготовки газа, перекачиваемого компрессорными станциями магистральных газопроводов, с целью его использования в качестве топливного газа.

7) Узлы подключения компрессорных станций (КС) — сооружения из труб, деталей, арматуры, плотно соединенных между собой, предназначенные для обеспечения необходимых технических условий для транспортировки газа по магистральному газопроводу.

8) Газгольдеры и другие резервуары для надземного хранения газа и продуктов газовой промышленности.



Рис. 1.10**.** Расположение ПХГ в Украине

Газовые хранилища в Украине достаточно уязвимы к воздействию средствам воздушного нападения противника, так как значительная их часть расположена на востоке и севере страны (рис. 1.11).

Предприятия **нефтяной отрасли** включают следующие критические элементы:

1) Котлы НПЗ для термической обработки нефти и других материалов. Они обладают большой мощностью, требуют высокого уровня безопасности и регулярного технического обслуживания.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН

2) Дистилляционные колонны НПЗ для разделения нефти на различные фракции по температуре кипения имеют сложную конструкцию и большую высоту, что требует соблюдения строгих стандартов безопасности и стабильности работы.

3) Реакторы, используемые для химических процессов переработки нефти, могут работать при повышенных температурах и давлении, что создает высокие риски для персонала и окружающей среды.

4) Нефтебазы — подземные и надземные емкости для нефти и горюче-смазочных материалов, предназначенные для хранения значительных объемов нефти и других топливных материалов, что создает риск взрывов, пожаров и загрязнения окружающей среды в случае аварий.

5) Трубопроводы — используются для транспортировки нефти и нефтепродуктов на большие расстояния.

6) Системы охлаждения НПЗ — предназначены для поддержания оптимальных условий работы и предотвращения перегрева оборудования.

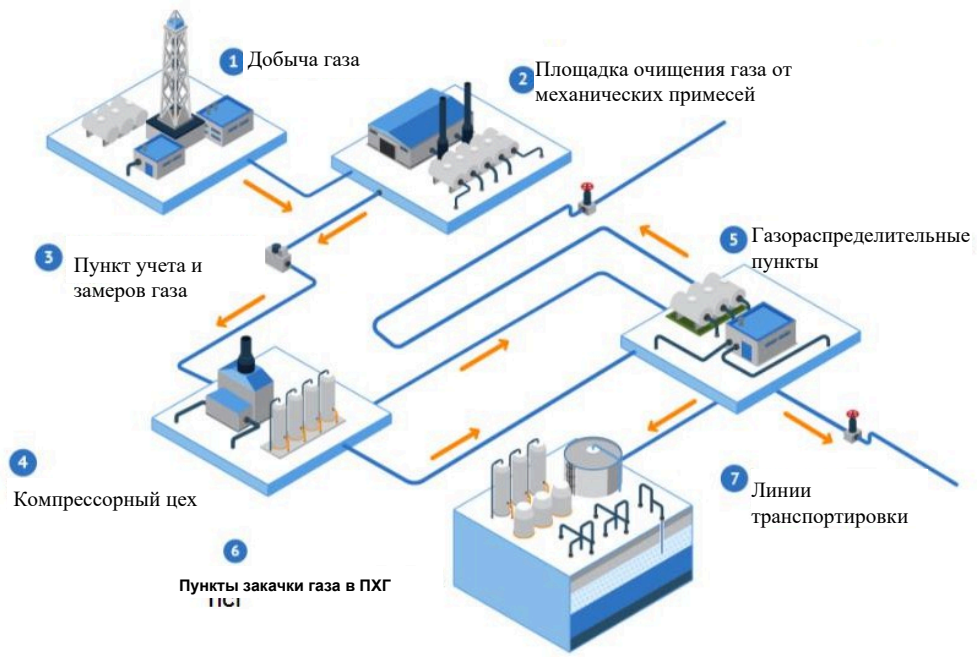


Рис. 1.11. Схематическое изображение места ПХГ в газовой сети

Как известно из статистики попаданий ЗПН, именно надземные резервуары чаще всего становятся целями ударов противника, поскольку содержат большие объёмы сосредоточенного в одном месте готового продукта, на производство которого затрачены значительные усилия и ресурсы, что в случае поражения приводит к одномоментным существенным потерям, а горючесть и взрывоопасность продуктов и их производных значительно затрудняют устранение последствий ударов и увеличивают сопутствующие потери. Кроме того, большие размеры и, как правило, металлическая листовая конструкция резервуаров облегчают прицеливание ЗПН и затрудняют выполнение мер инженерной защиты (рис. 1.12).

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

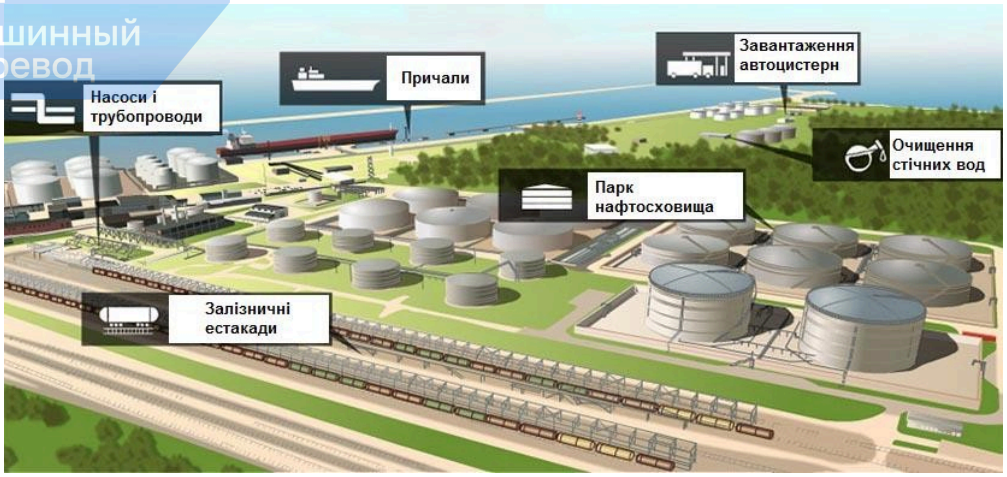


Рис. 1.12. Пример внешнего вида и основных составляющих базы хранения нефти или нефтепродуктов

Солнечные и ветровые станции, а также другие подотрасли альтернативной энергетики в данной работе рассматриваться не будут, поскольку, к сожалению, их доля в общем первичном энергоснабжении Украины невелика. С другой стороны, из-за малой удельной мощности, распределенности и диверсификации по территории страны альтернативная энергетика не становится целью для противника и не может ею стать из-за отсутствия централизации. Возможное точечное разрушение отдельных элементов альтернативной энергетики ракетными ударами или беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) противника не приводит к существенному снижению производства энергии за счет распределенности по территории и параллельных связей между их составляющими, а также отсутствия четко обособленной базы ресурсов и логистических цепочек их поставки. Кроме того, повреждение объектов, составляющих альтернативную энергетику, не приводит к серьезным экологическим последствиям, которые в случае ударов по объектам традиционной энергетики являются весьма значительными. Все это указывает на перспективность новейших направлений диверсифицированной и распределенной добычи энергии из возобновляемых источников для построения устойчивой энергетической системы страны в условиях постоянных военных угроз.

1.3. Нормативная база классификации и защиты критической инфраструктуры

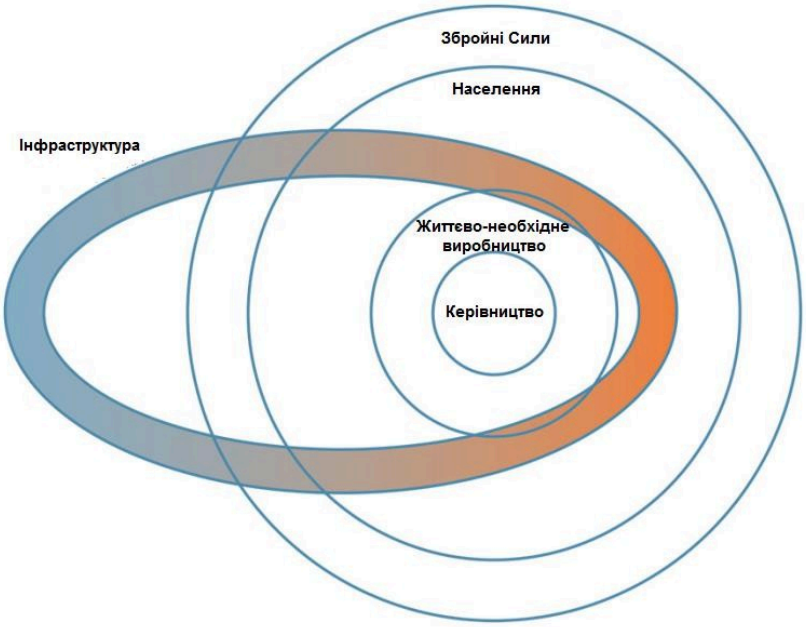
Инфраструктура (от лат. *infra* — «ниже», «под» и лат. *structura* — «здание», «расположение») — это совокупность сооружений, зданий, систем и служб, необходимых для функционирования отраслей материального производства и обеспечения условий жизнедеятельности общества. Различают производственную (дороги, каналы, порты, склады, системы связи и т. п.) и социальную (школы, больницы, библиотеки, театры, стадионы и др.) инфраструктуру [18].

С военной точки зрения инфраструктура является жизненно необходимым связующим звеном, охватывающим основные «кольца целей», на что впервые обратил внимание полковник армии США Д. Уорден в 1988 году [19]. В современных условиях глобализации инфраструктура выходит за пределы колец военных целей,

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

связанная с другими странами, виртуальной средой и т. п. (рис. 1.13, *а*), что указывает на её важность и критическое влияние. Современное понимание инфраструктуры как части системы обеспечения целей отводит ей ведущую роль в операционной среде (рис. 1.13, *б*).



а



б

Рис. 1.13. Ведущее место инфраструктуры в «кольцах» военных целей Д. Уордена (*а*), взаимосвязанная операционная среда (*б*) [33]

В Украине Законом «О критической инфраструктуре» [20] определено, что **объекты критической инфраструктуры** — это системы инфраструктуры, их части и совокупность, которые важны для экономики, национальной безопасности и обороны, нарушение функционирования которых может нанести ущерб жизненно важным национальным интересам. К ним относятся, в частности, предприятия и учреждения (независимо от формы собственности) таких отраслей, как энергетика, химическая промышленность, транспорт, банки и финансы, информационные технологии и телекоммуникации (электронные коммуникации), продовольствие, здравоохранение,

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
машинный перевод

коммунальное хозяйство, которые являются стратегически важными для функционирования экономики и безопасности государства, общества и населения, вывод из строя или разрушение которых может повлиять на национальную безопасность и оборону, окружающую среду, привести к значительным материальным и финансовым убыткам, человеческим жертвам. Законом Украины определён термин «критически важные объекты инфраструктуры» — юридические лица, деятельность которых непосредственно связана с технологическими процессами и/или предоставлением услуг, имеющих большое значение для экономики и промышленности, функционирования общества и безопасности населения, вывод из строя или нарушение функционирования которых может негативно повлиять на состояние национальной безопасности и обороны Украины, окружающей природной среды, нанести имущественный ущерб и/или представлять угрозу для жизни и здоровья людей [21].

Удары по КИ приводят к возникновению на них чрезвычайных ситуаций (ЧС) — событий, нарушающих нормальные условия жизни и деятельности людей, которые привели или могут привести к человеческим и материальным потерям. Также в Законе Украины «О критической инфраструктуре» [20] определено важное понятие «устойчивости критической инфраструктуры» — состояние критической инфраструктуры, при котором обеспечена её способность функционировать в штатном режиме, адаптироваться к постоянно меняющимся условиям, противостоять и быстро восстанавливаться после воздействия угроз любого рода.

Государственная политика в сфере защиты критической инфраструктуры основывается на следующих принципах [20]:

1) признание необходимости обеспечения безопасности и устойчивости критической инфраструктуры;

2) определение законодательных требований к принципам и подходам защиты критической инфраструктуры, приоритетам, стратегическим задачам в этой сфере;

3) определение субъектов национальной системы защиты критической инфраструктуры, их полномочий и принципов ответственности, порядка взаимодействия;

4) создание условий и внедрение мер, направленных на эффективное снижение и контроль рисков безопасности, снижение риска реализации возможных угроз, ликвидацию и/или минимизацию последствий реализованных угроз, кризисных ситуаций и других их видов;

5) создание системы раннего выявления угроз критической инфраструктуре;

6) внедрение государственно-частного партнерства, взаимодействия субъектов хозяйствования и населения по вопросам обеспечения защиты и устойчивости критической инфраструктуры;

7) обеспечение международного сотрудничества в сфере защиты критической инфраструктуры;

8) создание условий для быстрого восстановления жизненно важных функций и предоставления услуг в случае реализации угроз и нарушения функционирования критической инфраструктуры.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

В Евросоюзе общеевропейский подход к защите критической инфраструктуры закреплен в сообщении Европейской комиссии № 786 от 2006 года. Согласно этому документу, к общеевропейской критической инфраструктуре относятся те элементы национальных критических инфраструктур стран-членов ЕС, отказ, инцидент или атака на которые могут оказать значительное влияние как на страну, в которой произойдет это событие, так и по крайней мере на одну из других стран-членов ЕС. Указанным сообщением была инициирована Европейская программа по защите критической инфраструктуры, разработанная с целью повышения уровня её защищённости за счёт создания единого подхода к её защите в странах-членах ЕС и гармонизации национального законодательства в данной сфере [23].

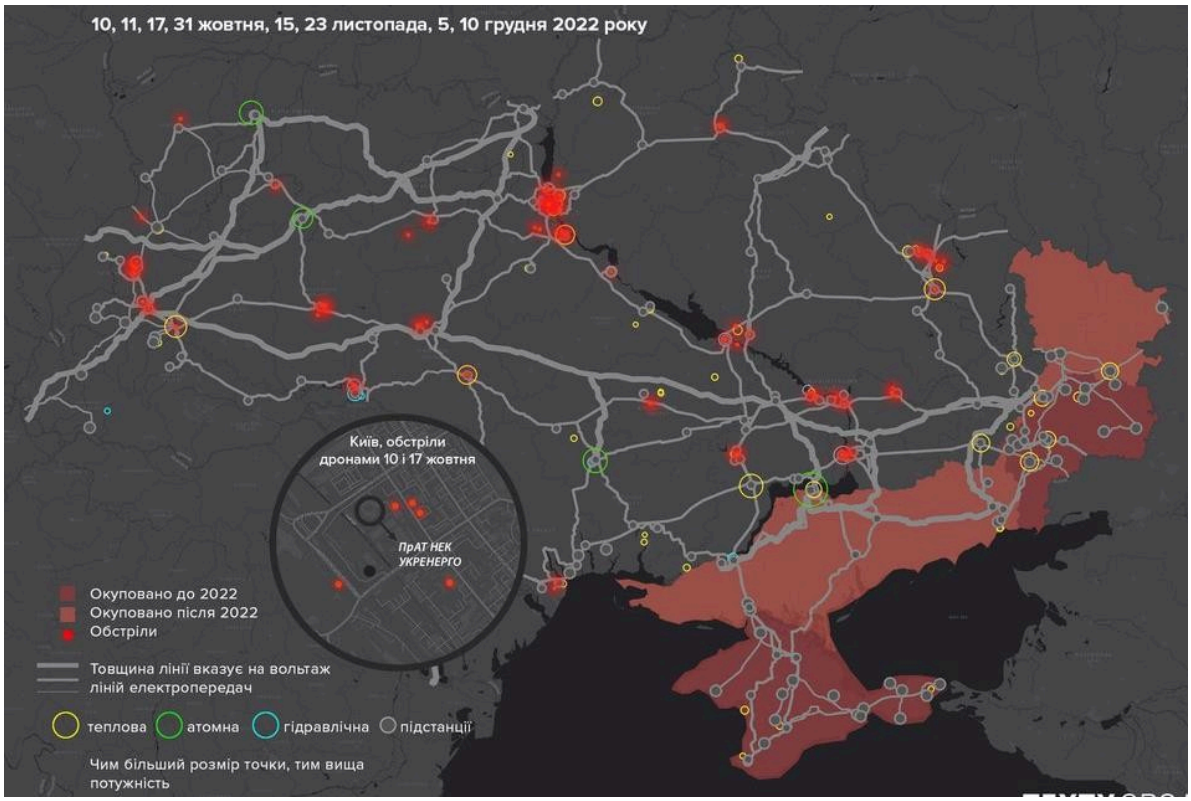


Рис. 1.14. Карта массированных ударов РФ по объектам энергетической критической инфраструктуры Украины до декабря 2022 года [22]

Обеспечение безопасности критической инфраструктуры является сложной проблемой для каждого государства, и, ссылаясь на мнение американского исследователя Т. Льюиса [24], главными вызовами можно назвать следующие: значимость каждого из секторов критической инфраструктуры и самой инфраструктуры в целом; управление безопасностью в условиях взаимозависимости деятельности правительственных органов, государственного и частного секторов, регулирующих и экономических факторов; обмен информацией, который уже на стадии сбора и сопоставления необходимых данных представляет собой значительную проблему, поскольку государственные органы в большинстве своем являются вертикально ориентированными структурами, накапливающими информацию, а элементы критической инфраструктуры рассредоточены между государством и значительным количеством частных компаний; взаимозависимость

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

элементов и секторов критической инфраструктуры вследствие присущих им комплексных разноуровневых взаимодействий и взаимосвязей. Учитывая, что большинство систем критической инфраструктуры имеет сетевую архитектуру, Т. Льюис считает, что защищать необходимо прежде всего главные «узлы» этих систем [24]. Можно убедиться, что именно по этой стратегии действовала РФ, нанося удары по критической инфраструктуре Украины в 2022–2023 гг. (рис. 1.14).

В Соединённых Штатах Америки Министерство обороны является главным инициатором разработки и развития технических средств, информационных и телекоммуникационных технологий для применения глубоко эшелонированной защиты (defense-in-depth), сосредоточенной на инфраструктуре [23].

Объекты относятся к критической инфраструктуре в порядке, установленном Кабинетом Министров Украины [21], по совокупности критериев, определяющих их социальную, политическую, экономическую, экологическую значимость для обеспечения обороны страны, безопасности граждан, общества, государства и правопорядка, в частности для реализации жизненно важных функций и предоставления услуг. Определение определенных объектов в качестве ОКИ указывает на существование угроз для них, возможность возникновения кризисных ситуаций из-за несанкционированного вмешательства в их функционирование или его прекращения, человеческого фактора или стихийных бедствий, а также на продолжительность работ по устранению таких последствий до полного восстановления работы в штатном режиме.

К таким критериям относятся:

1) выполнение функций по обеспечению жизненно важных национальных интересов;

2) наличие вызовов и угроз для ОКИ;

3) вероятность нанесения значительного ущерба нормальным условиям жизнедеятельности населения;

4) уязвимость ОКИ, тяжесть возможных негативных последствий, причинение значительного ущерба здоровью населения (количество пострадавших, погибших и лиц, получивших серьезные травмы, а также численность эвакуированного населения); ущерб социальной сфере (разрушение систем социальной защиты населения и предоставления социальных услуг, утрата способности государства удовлетворять критические потребности общества); ущерб государственному суверенитету (снижение обороноспособности, дискредитация имиджа страны, дестабилизация системы государственного управления и невозможность выполнения государством своих функций); ущерб экономике (влияние на валовой внутренний продукт, размер экономических потерь, как прямых, так и косвенных), природным ресурсам общегосударственного и местного значения;

5) масштабность негативных последствий для государства, которые влияют на деятельность стратегически важных объектов для нескольких секторов жизнеобеспечения или приводят к потере уникальных национально значимых активов, систем и ресурсов, будут иметь длительные последствия для государства и скажутся на деятельности других секторов;

6) продолжительность ликвидации таких последствий и дальнейшее негативное воздействие на другие сектора государства;

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

7) влияние на функционирование смежных секторов критической инфраструктуры.

Законодательством установлены следующие категории критичности объектов критической инфраструктуры:

I — особо важные объекты, имеющие общегосударственное значение, оказывающие значительное влияние на другие объекты критической инфраструктуры; нарушение их функционирования приведет к возникновению кризисной ситуации государственного значения;

II — жизненно важные объекты, нарушение функционирования которых приведет к возникновению кризисной ситуации регионального значения;

III — важные объекты, нарушение функционирования которых приведет к возникновению кризисной ситуации местного значения;

IV — необходимые объекты, нарушение функционирования которых приведет к возникновению кризисной ситуации локального значения.

Постановлением КМУ от 09.10.2020 № 1109 [25] определен порядок отнесения объектов к критической инфраструктуре, в том числе в топливно-энергетическом секторе; в частности, для электроэнергетики приведен следующий перечень категоризированных услуг: производство электрической энергии, обеспечение функционирования рынка электрической энергии, организация купли-продажи электрической энергии на рынке, управление системами передачи и энергоснабжения, распределение электрической энергии; для подсектора углепромышленного комплекса: добыча энергетического угля для генерации электроэнергии на теплоэлектростанциях и теплоэлектроцентралях, хранение и поставка угля; в подсекторе газовой промышленности — добыча газа, переработка и очистка газа, передача (транзит) газа, распределение газа, обеспечение работы систем сжижения природного газа, эксплуатация газотранспортной системы, хранение природного газа и обеспечение работы систем сжижения природного газа.

Для сектора ядерной энергетики определен следующий порядок отнесения объектов к критической инфраструктуре по сферам: производство ядерного топлива, эксплуатация ядерных подкритических установок, ядерных реакторов, включая критические и подкритические сборки исследовательских реакторов, эксплуатация атомных электростанций, предприятий и установок по обогащению и переработке топлива, а также хранилищ отработанного топлива.

Методикой категоризации объектов критической инфраструктуры, являющейся приложением к постановлению [25], предусмотрена балльная оценка объекта в зависимости от таких его показателей, как фактор негативного воздействия в секторе/подсекторе и уровень негативного воздействия, который может принимать для энергоструктуры Украины следующие значения: катастрофические последствия, критические последствия или незначительные последствия. Уровни зависят от возможных последствий чрезвычайных ситуаций, например: прекращение электроснабжения; сокращение поставок нефти и нефтепродуктов для потребления на внутреннем рынке Украины; уничтожение, повреждение или нарушение функционирования объекта критической инфраструктуры, в результате чего может быть прекращена подача газа.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

Количественными показателями для расчета баллов по различным показателям являются **количество** жителей, для потребителей определенной категории — площадь территории, затронутой последствиями чрезвычайной ситуации, время восстановления функционирования в штатном режиме, сокращение предоставления услуг (в процентах) по сравнению с аналогичным периодом календарного года или предыдущим календарным месяцем.

Приказом № 23 Администрации государственной службы специальной связи и защиты информации Украины от 15.01.2021 [26] утверждены Методические рекомендации по категоризации объектов критической инфраструктуры. Совокупный уровень воздействия объекта, рассчитанный по методике, приведенной в приказе, определяет категорию его критичности в зависимости от уровня критичности (УК) по следующему принципу:

I категория критичности – 0,8 < РК ОКИ ≤ 1;

II категория критичности – 0,63 < РК ОКИ ≤ 0,8;

III категория критичности — 0,37 < РК ОКИ ≤ 0,63;

IV категория критичности – 0,2 < РК ОКИ ≤ 0,37;

объект не является критическим – РК ОКИ ≤ 0,2.

Во время полномасштабного вторжения РФ в 2022 году выяснилось, что охваченных методикой объектов и подходов к классификации недостаточно:

- наличие большого количества связей между ОКИ предполагает рассмотрение их как системы в целом, например нанесение противником ударов ЗПН по системам распределения энергии во многих случаях привело к тому, что объекты генерации стали непригодными для использования, хотя они и не были поражены;
- взаимозависимость ОКИ обусловливает их динамические изменения во времени, то есть в случае поражения более критичного по методике объекта другие, менее критичные, становятся гораздо важнее;
- в указанный перечень методики не вошли объекты культурного наследия, национальные достояния, памятники природы и культуры; центры хранения данных; логистические хабы и склады, через которые, в частности, передается международная техническая помощь; военные базы и пункты постоянной дислокации отдельных воинских частей, которые опосредованно также связаны с критической инфраструктурой.

С учетом этого было издано Постановление КМУ № 1482, которым определены сначала 50, а затем [27] 108 ОКИ, подлежащих первоочередной защите. Такое количество определено экспертным методом, не только на основе критичности согласно методике, но и на основе опыта и фактического выполнения объектами функций по критическому обеспечению. В итоге 20 декабря вступило в силу постановление КМУ от 16.12.2022 № 1384 «О внесении изменений в постановление Кабинета Министров Украины от 9 октября 2020 года № 1109 «Некоторые вопросы объектов критической инфраструктуры», в котором Министерство аграрной политики и продовольствия Украины определило возможность для любого предприятия подать заявку на включение в перечень объектов критической инфраструктуры. Ожидается, что такой процесс будет продолжаться и в других отраслях, в частности в энергетике.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

В будущем мы считаем целесообразным пересмотреть методики более подробного описания критериев и предусмотреть возможность рассмотрения связанных объектов системы критической инфраструктуры.

1.4. Методики определения критичности элементов объектов критической инфраструктуры

При обеспечении инженерной защиты каждый объект критической инфраструктуры, даже одного назначения, необходимо рассматривать отдельно ввиду наличия у них индивидуальных особенностей, главными из которых являются:

- различное географическое расположение, территория, геологические и климатические условия;
- различия в мощностях и производительности ОКИ, различия в источниках и объемах потребления ресурсов;
- различная номенклатура оборудования, зданий и сооружений, индивидуальная компоновка, подвод и расположение коммуникаций и т. п.;
- различное техническое состояние объектов.

Главным фактором является то, что даже если каждый ОКИ имеет преимущественно индивидуальный или типовой набор элементов, объединенных обеспечением единого основного функционала, он состоит из оборудования и сооружений, элементов внутри КИ, которые имеют разную степень важности. К сожалению, закрепленная в Украине законодательно Методика категоризации объектов критической инфраструктуры связана только с объектами в целом и не раскрывает степени важности элементов внутри ОКИ.

Исследование подходов ведущих стран мира [28] к пониманию критической инфраструктуры, а также практическая работа на отечественных ОКИ энергетической отрасли подтвердили необходимость ее восприятия как комплексной системы — сети, включающей отдельные элементы и цепочки соединений. Места соединений элементов цепочек образуют узел. Повреждение или разрушение одного из узлов влияет на деятельность других и может привести к выходу из строя всей критической инфраструктуры, поэтому в интересах защиты КИ необходимо защищать такие узлы [28].

Главным показателем для оценки устойчивости КИ и финансовых потерь в случае её повреждения является время, необходимое для восстановления нормального функционирования КИ после её поражения, то есть чем меньше времени требуется на восстановление КИ, тем выше её устойчивость к воздействию угрозы [29]. С учётом указанного авторами предложено [2] определять категории важности элементов ОКИ следующим образом.

Категория А — конструкции и элементы ОКИ, отказ которых может привести к полной неработоспособности ОКИ в целом или значительной его части, а для их восстановления требуется более 3 недель. Примерами таких элементов на объектах энергетической сферы являются главные трансформаторы, центры управления, турбины, генераторы и т. п. Для некоторых элементов ОКИ, последствия поражения которых могут быть весьма значительными (атомные реакторы, заслонки ГЭС и т. п.), предлагаем также выделить

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

категорию А+ с обеспечением расчетов и соответствующей защиты от прямых попаданий как известных, так и перспективных ОМП противника.

Категория Б — конструкции и элементы ОКИ, отказ которых может привести к затруднению нормальной эксплуатации ОКИ или отказу других элементов ОКИ, не относящихся к категории А, для восстановления которых требуется 1–3 недели. Примерами таких элементов являются, в частности, газораспределительные узлы.

Категория В — конструкции и элементы, отказ которых не приводит к нарушению основной функции ОКИ и функционирования других конструкций или их элементов, а для восстановления требуется до 1 недели. Это, например, второстепенные газопроводы, линии электропитания и т. п.

Данный подход согласуется с действующим нормативом ДБН В.1.2-14 [30]. При организации защиты каждого элемента ОКИ энергетической отрасли Украины, помимо военных угроз, должны быть учтены его габариты, технологические параметры для функционирования и обслуживания, ремонтопригодность и сохранность. Предлагаемый подход является эффективным, поскольку **напрямую связывает конструктивные расчеты** элементов зданий и сооружений ОКИ с коэффициентами безопасности по назначению в соответствии с ДБН В.1.2-14 [30].

Другим эффективным подходом, принятым во многих западных странах для оценки критичности элементов внутри ОКИ, является так называемая матрица «CARVER» [31]. Эту методику анализа уязвимости критической инфраструктуры используют для оценки потенциальных целей атак. CARVER — это сокращение от английской фразы «Criticality, Accessibility, Recuperability, Vulnerability, Effect, and Recognizability» (критичность, доступность, восстанавливаемость, уязвимость, эффект и узнаваемость); матрица была разработана военными США:

C — Criticality/критичность — идентификация критических элементов, отдельных точек уязвимости;

A – Accessibility/доступность – определение легкости доступа к критически важным системам, операциям и активам;

R – Recuperability/восстанавливаемость – время, необходимое для восстановления после атаки;

V – Vulnerability/уязвимость – эффективность системы безопасности против возможностей противника;

E – Effect/эффект – масштаб и степень последствий;

R – Recognizability/узнаваемость – способность противника распознать и определить актив как критическую или значимую цель.

Методика CARVER основана на разделении ОКИ на отдельные компоненты и оценке каждого компонента по шести критериям. Для каждого компонента определяют уровень важности, легкость доступа, возможность восстановления, уязвимость к атакам, потенциальный эффект атаки и уровень узнаваемости. Это логичный способ взглянуть на ущерб, который может попытаться нанести противник, и степень такой возможности с учетом имеющихся ресурсов.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

Важно, что методика CARVER разработана именно военными для определения целей или их защиты, а значит, позволяет учесть особенности военных угроз. Первоначальное назначение CARVER для критической инфраструктуры — помочь идентифицировать наиболее уязвимые компоненты и определить наиболее вероятные сценарии террористических атак. Эта методика может быть использована для разработки планов усиления безопасности КИ, мер по предотвращению терроризма и обеспечению национальной безопасности [32].

Чтобы оценить критические элементы по методике CARVER, сначала составляют логико-структурную схему КИ, в которой учитываются все элементы, принимающие непосредственное участие или обеспечивающие основную функцию назначения. Такая логико-структурная схема ОКИ имеет вид ориентированного графа, где узлы обозначают элементы конкретного ОКИ, а соединения между ними в виде стрелок — зависимости или взаимозависимости.

По сути, логико-структурная схема функционала ОКИ не ограничивается самим объектом, выходя за его пределы в смысле связей обращения энергий, снабжения ресурсами и т. п., поскольку сам ОКИ является узловым элементом-преобразователем в единой энергосистеме инфраструктуры.

Для проектирования системы инженерной защиты необходимо прежде всего собрать информацию для анализа каждого отдельного ОКИ. Такая исходная информация должна, в частности, включать:

- в бумажном и электронном виде планы и разрезы ОКИ с привязкой к отдельным зданиям и рельефу (в масштабе 1:500…1:2000);
- данные инженерных изысканий;
- сведения о проведенные ремонты и реконструкции, фактическое использование оборудования;
- степень автоматизации ОКИ;
- технологические схемы основного оборудования;
- электрические схемы;
- схемы подключения к электросети – смежные линии и подстанции;
- рабочие проекты конструктивных элементов основных сооружений;
- концепцию гражданской защиты на ОКИ;
- перечень источников ресурсов и поставщиков;
- проектные и фактические мощности;
- объемы и источники выбросов, источники теплоизлучения;
- схемы и средства противопожарной защиты и пожаротушения, их характеристики;
- концепцию охраны, мониторинга и управления ОКИ;
- близлежащие автомобильные и железнодорожные пути;
- все потенциально опасные объекты.

Источниками информации должны быть, прежде всего, эксплуатирующие организации-операторы, но данные также могут предоставляться профильными министерствами, ведомствами, проектными организациями и т. п.

Пример. На рис. 1.15 показан пример логико-структурной схемы функционала для объекта-представителя ОКИ — типовой ТЭС. В качестве

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН

пример объект представляет собой мультитопливную ТЭС (рис. 1.16) со следующими **основными характеристиками:**

- широкая территория (с.в.-ю.в. – около 1,3 км; в.в.-з.в. – около 5,5 км);
- наличие с южной стороны протяженных холмов;
- наличие с северной стороны равнинной местности, городской застройки и объектов гражданской инфраструктуры;
- наличие с восточной стороны водного бассейна реки, простирающегося с севера на восток;
- наличие на территории ОКИ двух важных объектов большого размера и нескольких других важных объектов;
- наличие демаскирующих признаков в видимом оптическом диапазоне в виде сооружений большого размера;
- наличие демаскирующих признаков в тепловом оптическом диапазоне в виде технологических сооружений с высокой тепловой контрастностью;
- наличие демаскирующих признаков в радиолокационном диапазоне в виде большого количества металлических и железобетонных конструкций различного размера.

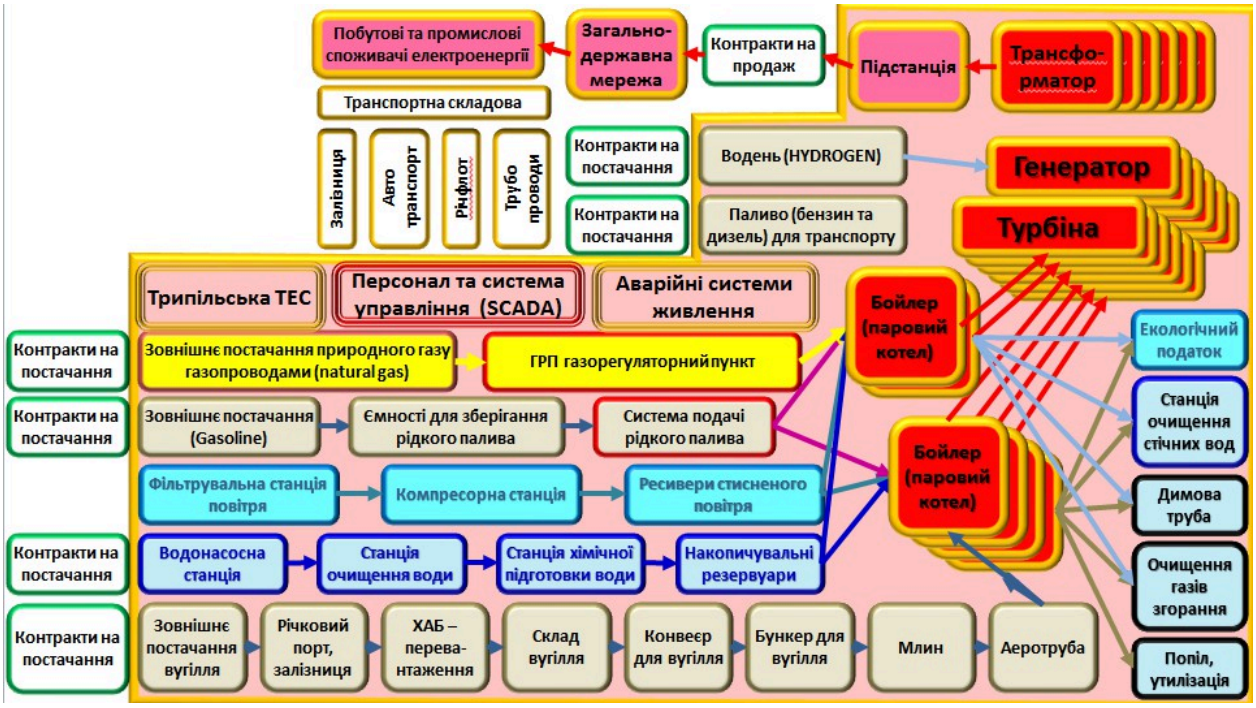


Рис. 1.15. Пример логико-структурной схемы CARVER для определения элементов ОКИ, которые следует учитывать при анализе объекта-представителя ТЭС

Вид топлива: уголь (основное топливо), газ, мазут. Теплоэлектростанция содержит 3 энергоблока по 300 мВт на угле, 1 энергоблок мощностью 325 мВт, работающий на угле, 2 энергоблока мощностью по 300 мВт, работающие на мазуте, трансформаторы типа ТДЦ-400000/330, 6 турбин и генераторов общей номинальной мощностью 1800 мВт. На объекте имеется открытый угольный склад вместимостью 280 тыс. т.

Описание технологии: производство энергии осуществляется в главном корпусе, где установлено основное оборудование (котлы, турбогенераторы) и

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

вспомогательное (угольные мельницы, вентиляторы дутья, насосы, подогреватели и т. п.), что соответствует типовой схеме ТЭС (см. п. 1.2).



Рис. 1.16. Внешний вид и турбинный зал типового объекта ТЭС

Определение связей между элементами по логико-структурной схеме позволяет установить их важность несколькими методами, основным из которых является метод критического пути, согласно которому элемент, участвующий в основном функциональном процессе (к нему / от него ведут много стрелок или он безальтернативно стоит на пути основного процесса), имеет большую критичность.

Далее оценку по методике CARVER проводят по балльной схеме по шести показателям объекта. В табл. Д 1.1 приведены параметры CARVER, определяющие баллы, адаптированные к ОКИ.

Баллы для неколичественных показателей определяют на основе опыта защиты аналогичных объектов экспертным путем. По результатам полученной балльной оценки определяют два ключевых показателя:

$$C+R+E = \text{Важность (Importance, IMPACT)}$$

и

$$A+V+R = \text{Вероятность поражения (Attack Success Chance, LIKELIHOOD)}$$

Конечная **приоритетность элемента** ОКИ может быть определена как сумма:

$$\text{Priority Rating} = \text{важность} + \text{вероятность поражения}.$$

В качестве примера сводной оценки можно привести показанную выше ТЭС. Элементы станции, определенные на основе составления логико-структурной схемы ее основной функции, были экспертно оценены по критериям табл. 1.1, результаты оценки приведены в табл. Д 1.2.

Элементы ОКИ, которые по методике **CARVER** получают наивысшие показатели **Priority Rating**, должны быть защищены в первую очередь, поскольку потенциально являются вероятными приоритетными целями для противника, а также существенно влияют на функциональность объекта даже в случае их случайного поражения.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
машинный перевод

РАЗДЕЛ 2. СРЕДСТВА ВОЗДУШНОГО НАПАДЕНИЯ ПРОТИВНИКА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКУЮ ОТРАСЛЬ УКРАИНЫ

2.1. Типология и характеристика угроз со стороны средств воздушного нападения Российской Федерации

Основными средствами поражения ОКИ Украины являются крылатые и аэробаллистические ракеты воздушного, наземного и морского базирования, а также авиационные ракеты и БПЛА оперативного уровня.

Также вблизи линии соприкосновения с противником и у государственной границы РФ применяет для ударов по ОКИ планирующие бомбы, комплексы С-300 и С-400. Артиллерия, БПЛА тактического уровня и авиаудары с применением тактических ракет по ОКИ обычно не применяются из-за малой эффективной дальности их применения. Очевидно, что размещение ОКИ вблизи государственной границы или линии соприкосновения с противником нецелесообразно, а предотвращение террористических атак и диверсионных действий с применением стрелкового и другого оружия — является вопросом соответствующих органов безопасности. Систематизация военных угроз для ОКИ со стороны ВВС РФ приведена в табл. Д 2.1.

Средства **ракетного вооружения**, которые использует РФ для нанесения ударов по ОКИ Украины, насчитывают несколько десятков типов. Мы рассмотрим наиболее опасные и дальнобойные средства, известные на момент написания книги в 2023 году. Установлено, что основными направлениями ракетных ударов, нанесённых по территории Украины с применением крылатых ракет различного типа, являются: с территории Беларуси (пуски крылатых ракет «Искандер»); из акватории Чёрного моря и с территории временно оккупированной Автономной Республики Крым (пуски с береговых комплексов «Бастион-П» крылатых ракет «Оникс»; с кораблей Чёрноморского флота — крылатых ракет «Калибр»; крылатых ракет класса «воздух-поверхность» Х-101, Х-555 с применением стратегических бомбардировщиков Ту-160, Ту-95МС, Ту-22М3М, а также единичные случаи применения крылатых ракет «Искандер» и ракет «Точка-У»); из акватории Каспийского моря (корабли Каспийского флота

− крылатых ракет «Калибр», крылатых ракет класса «воздух–поверхность» Х-101, Х-555 с применением указанных стратегических бомбардировщиков); с территории РФ (крылатых ракет «Искандер», ракет типа «Точка-У» для нанесения ударов на расстояние до 120 км, крылатых ракет класса «воздух–поверхность» Х-101, Х-555 с применением указанных стратегических бомбардировщиков) [1].

Известными самолетами-носителями, с которых осуществляются пуски крылатых ракет класса «воздух-поверхность» РФ, являются Су-24, Су-27, Су-30, Су-34, Су-35С, Су-57, МиГ-29, МиГ-31, МиГ-35, Ту-22М3, Ту-95МС, Ту-160. При этом также установлено, что в качестве носителей ракет класса «воздух-поверхность» во время полномасштабного вторжения страна-агрессор применяла преимущественно самолеты МиГ-31, Ту-22М3М, Ту-95МС, Ту-160 [2]. Общий вид этих ракет и их носителей приведён на рис. 2.1.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

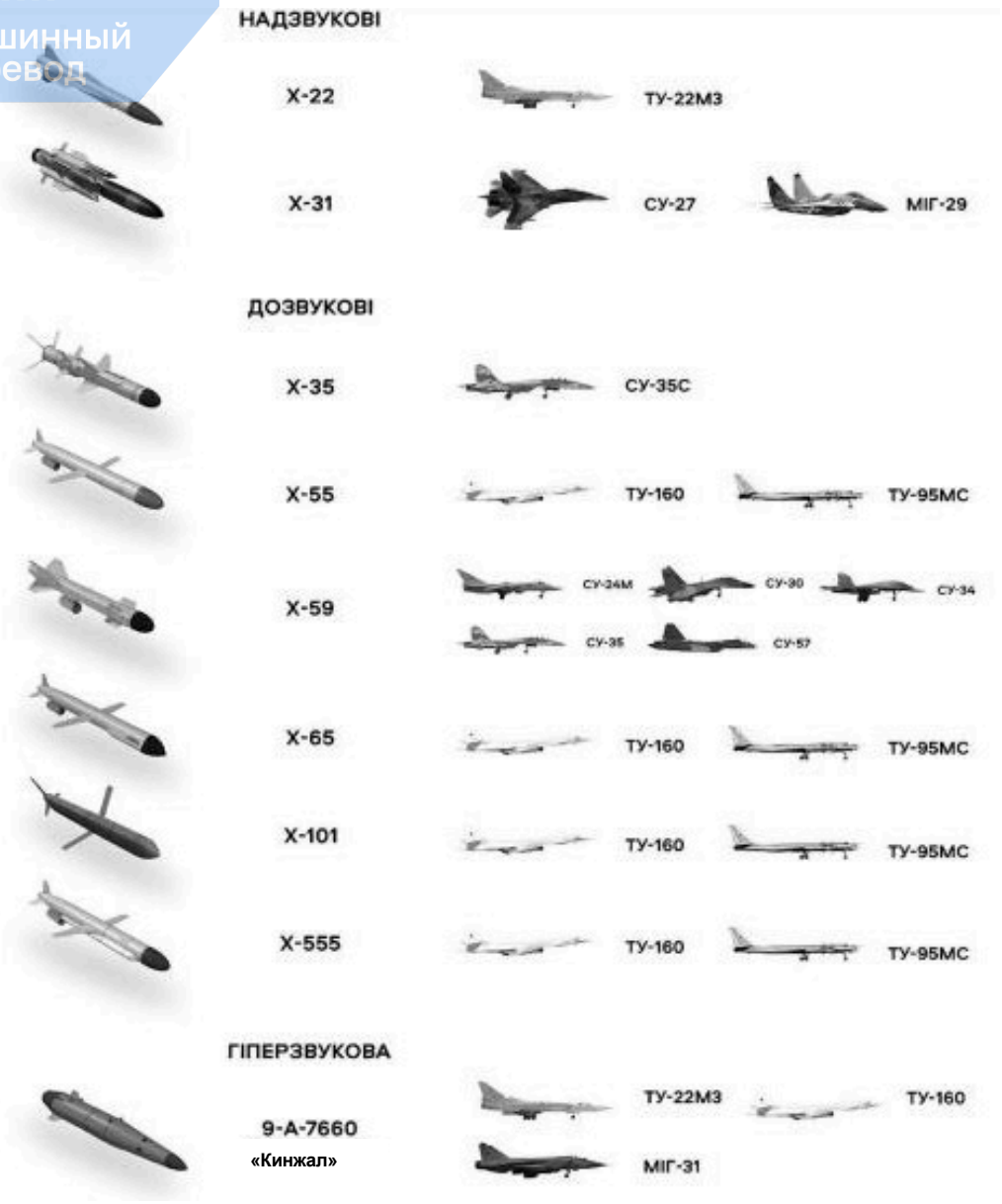


Рис. 2.1. Общий вид ракет воздушного базирования и их носителей, которыми атакуют ОКИ

Одной из главных проблем в идентификации угроз для ОКИ со стороны ЗРК противника является небольшой объем доступных данных об их тактико-технических характеристиках. Основные характеристики боевых ракет РФ можно найти в открытых источниках [3], но их специфические параметры пока неизвестны. В таких случаях оправданным является моделирование параметров ракет и применение смоделированных характеристик или использование аналогов.

Известные данные о ракетах РФ, которыми атакуют ОКИ в Украине, сведены в табл. 2.1. Важной информацией о ракетных ЗПН также являются сведения об их системах управления и наведения. Имеющаяся информация о системах управления и головках самонаведения крылатых ракет воздушного базирования (КПРБ) РФ приведена в табл. 2.2 [1].

В таблице 2.2 приняты следующие сокращения: АРГСН — активная радиолокационная головка самонаведения; ИНС — инерциальная система; ПРЛГСН — противорадиолокационная головка самонаведения; ДРЛОиУ — система дальнего

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

радиолокационного обнаружения и управления; СНС — спутниковая навигационная система; РВ — радиовысотомер; ОЕГСН — оптико-электронная головка самонаведения; ГИСУ — геоинформационная система управления.

Таблица 2.1

Основные характеристики ракет, которыми РФ атакует ОКИ

Тип ракеты	Длина, м	Диаметр, м	Вес БЧ, кг	Максимальная скорость, м/с	Стартовая масса, кг
9К79г «Точка-У»	6,4	0,65	482	1100	2010
Х-59	5,7	0,4	310	291,67	900
Х-22	11,7	0,94	960	1111,11	5780
9М723 «Искандер»	7,3	0,92	480	2450,00	3800
Х-55/Х-555	6,04	0,77	450	260,00	1500
3М-14К/Т «Калибр»	8,2	0,514	450	240	1320
Х-47 «Кинжал»	7,7	0,9	500	4080	4615
Х-101	7,5	0,74	430	200,00	2400
П-800 «Оникс»	8,9	0,67	300	884	3900
Х-35	4,4	0,42	145	280	670

Таблица 2.2

Имеющиеся данные о системах управления и головках самонаведения основных КПРБ РФ

Наименование ТТХ	Типы КРПБ							
	Х-22	Х-31	Х-35	Х-55	Х-59	Х-101	Х-555	«Кинжал» 9-А-7660
Система управления	ИНС+ АРГСН (ПРЛГСН)	ИНС+ ПРГСН	ИНС+ СНС+ РВ+ АРГСН	ИНС+ СНС+ РВ+ АРГСН	ИНС+ СНС+ РВ+ АРГСН	ИНС+ СНС+ РВ+ Спрут (вероятно) + ОЕГСН	АРГСН, ГИСУ	ИНС с возможностью корректировки по системам ГЛОНАСС, ДРЛОиУ, оптическая ГСН
Головка самона-ведение	Радио локация война	Широко полосная ПРГСН Л-130	АРГСН «Гран ь-К»	АРГСН	АРГСН АРГС-59Э	Оптическая ГСН, радиолокационная ГСН	АРГСН	Оптическая ГСН, радиолокационная на ГСН

Боевое применение ракет противником зависит прежде всего от параметров их боевой части (БЧ). Точные тип и масса взрывчатого вещества (ВВ) в БЧ известны на момент написания данной работы для ракет «Точка-У» (162,5 кг, 20 % тротила и 80 % гексогена, гексолит ТГ20) и Х-22 (630 кг, тип ВВ ТГАГ-5) [4]. На основании этих данных, а также компоновочных ограничений [5], для других ракет прогнозируется, что масса ВР составляет ориентировочно 65 % от массы БЧ. Угол встречи с объектом поражения известен только для комплексов «Точка-У» и «Искандер» и составляет примерно 90° [6]. Для остальных ракет из справочной литературы может быть принят угол поражения до 80° включительно.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

Анализ открытых источников [7] показал, что тип поражения оперативно-тактической ракеты 9К79 комплекса «Точка-У» (подрыв осколочно-фугасной БЧ типа 9Н123Ф сосредоточенного действия для большей эффективности осуществляется на высоте 10..20 м, отличается от других ракет, которые мы рассматриваем. Ракета комплекса «Искандер» имеет следующие типы БЧ: осколочно-фугасная, фугасно-зажигательная и проникающая. Сверхзвуковая крылатая противокорабельная ракета воздушного базирования Х-22 обладает фугасно-кумулятивным действием с БЧ 9А-22. Стратегические авиационные крылатые ракеты Х-55/Х-555 имеют фугасные варианты БЧ. Ракеты «Калибр» в штатной комплектации 3М-14К/3М-14Т (3М-14КЭ/3М-14ТЭ) оснащены БЧ фугасного действия.

Гиперзвуковая авиационная ракета 9-С-7760 комплекса Х-47М2 «Кинжал» также оснащена БГ фугасного действия. 4 мая 2023 года ВС Украины впервые удалось сбить российскую гиперзвуковую ракету комплекса «Кинжал», используя комплекс «Patriot». Исследование БЧ позволило установить, что она выполнена по типу фугасной авиабомбы БЕТАБ-500ШП, которая обладает пробивной способностью железобетонных перекрытий около 1 м (рис. 2.2). На основе этих данных можно предположить, что заявленные РФ характеристики ракет комплекса «Кинжал» значительно завышены.



Рис. 2.2. Вид БЧ сбитой 4 мая 2023 года над Киевом ракеты «Кинжал» с оболочкой из титанового сплава толщиной 20…24 мм [8]

В стратегической крылатой ракете типа «воздух-поверхность» Х-101 может использоваться осколочно-фугасная, проникающая и объемно-детонирующая БГ. Сверхзвуковая универсальная противокорабельная ракета среднего радиуса действия П-800 «Оникс» может быть оснащена фугасной и проникающей БЧ [4], у ракеты Х-35У БЧ — проникающий фугас. В дальнейшем ракеты «Точка-У» рассматривать не будем, поскольку у них нет вариантов БЧ фугасного или проникающего действия. Другие ракеты, напротив, должны рассматриваться как потенциально опасные для ОКИ в случае прямых попаданий. Для расчетов принят фугасно-проникающий тип БЧ как наиболее разрушительный для защитных сооружений элементов ОКИ.

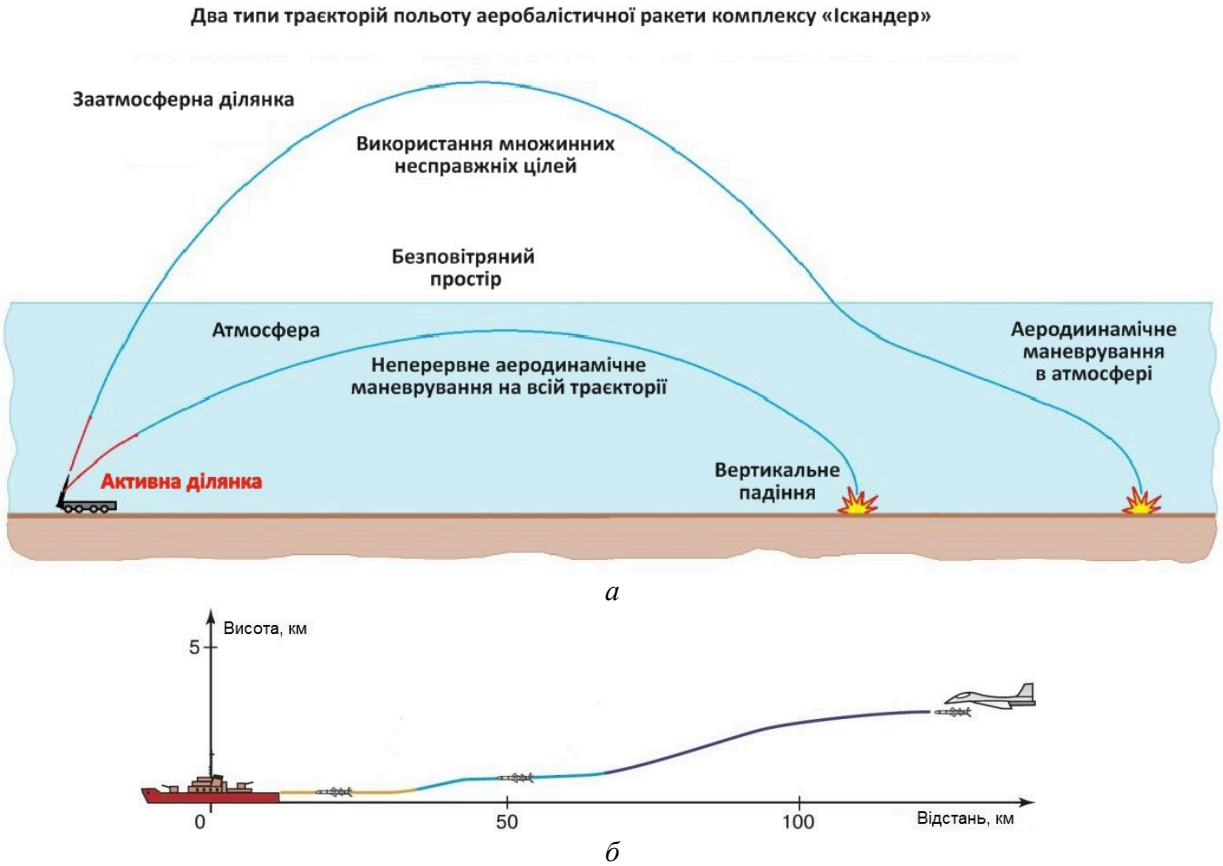
При попадании у большинства ракет маршевый двигатель уже отработал на конечной участке аэробаллистической (баллистической) траектории, соответственно масса ракеты уменьшена на массу израсходованного топлива. Для

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН

современных ракет стандартной комплектации предусмотрен запас топлива 50–80 % веса ракеты [9]. Следовательно, для расчетов удара ракеты по сооружению её масса в момент попадания может быть прогнозно принята равной примерно 35 % стартового веса. При расчете проникновения в конструкцию БГ следует учитывать только вес самой БГ. Что касается скорости в момент попадания, то в открытом доступе имеются данные только об аэробаллистических ракетах комплекса «Искандер» — 800 м/с, то есть 33 % от максимальной благодаря выполнению аэродинамического маневрирования и обеспечению лучших условий для оптического наведения [10] (при таких скоростях на боеголовке не образуется плазменное облако, как при гиперзвуковом движении).

Для гиперзвуковых ракет падение скорости при выполнении маневра «горка» в конце полёта составляет до 5,5 раз, что может быть принято для гиперзвуковой авиационной ракеты Х-47М2 «Кинжал» (рис. 2.3). Длина БЧ, необходимая для дальнейших расчетов фугасного действия, точно известна для ракет 9М723 (9М729) комплекса «Искандер» (рис. 2.4).



а

б

Рис. 2.3. Траектория ракет: *а* — аэробаллистическая типа «земля-земля» 9М723 (9М729) комплекса «Искандер», (а) [7]; *б* — «воздух-земля»

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинний переклад

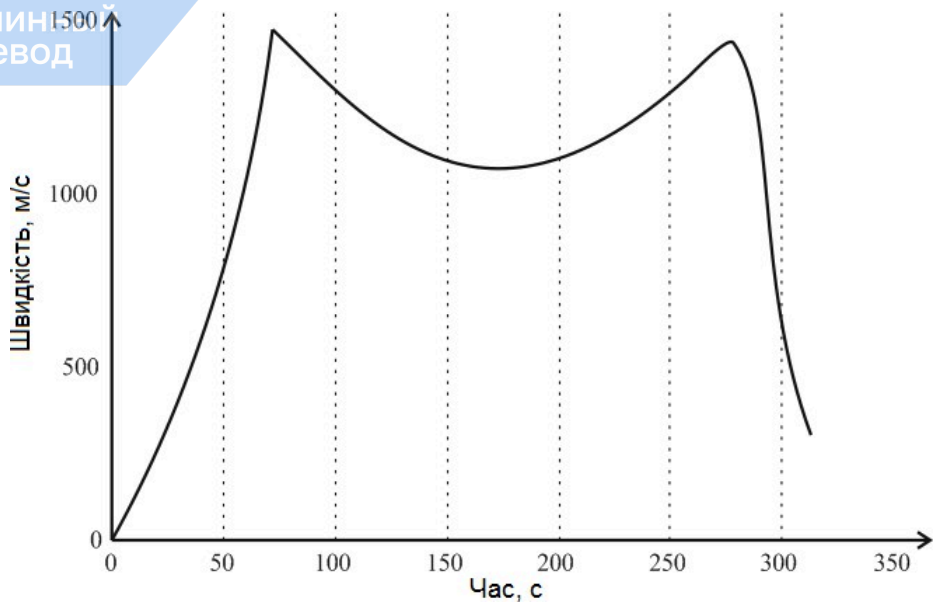


Рис. 2.4. Стандартный график скорости гиперзвуковых баллистических ракет [9]

Для ракеты Х-22 длина БЧ составляет примерно треть от общей длины. Для ракеты Х-47М2 «Кинжал» совокупная длина БЧ составляет около 2,8 м, для ракеты Х-55 — около четверти от общей длины (рис. 2.5). Соответственно, для других ракет соотношение можно принять аналогичным. Итак, для дальнейших расчетов примем дополнительные характеристики ракет РФ, используемых для ударов по ОКИ в Украине (табл. 2.3 и [12]). Данные о ЗПН могут в дальнейшем естественным образом изменяться после обнаружения новой информации и исследования трофейных образцов.

Таблица 2.3

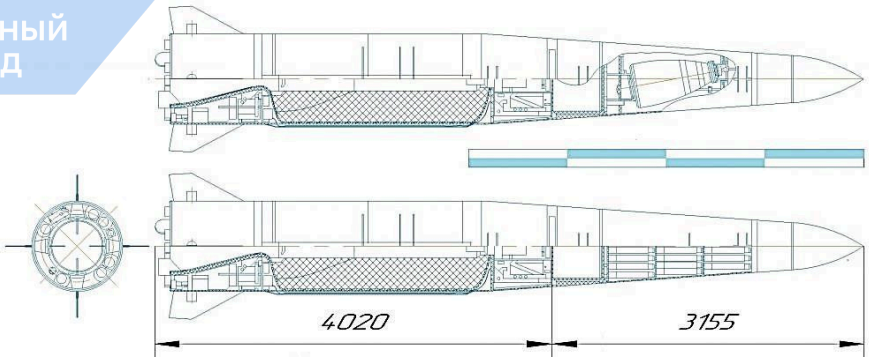
Дополнительные сведения и вероятные характеристики ракет РФ, используемых для ударов по ОКИ в Украине

Тип ракеты	Масса боевой части, кг	Угол встречи, град.	Масса в момент попадания, кг	Скорость в момент попадания, м/с	Длина БЧ, м
9К79 «Точка-У»	162,5	90	703,5*	359,18*	2,77*
Х-59	201,5*	80*	315*	95,2*	1,9*
Х-22	630	80*	2023*	600*	3,9
9М723 «Искандер»	312*	90	1330*	800	3,155
Х-55/Х-555	292,5*	80*	525*	84,9*	1,51
3М-14К/Т «Калибр»	292,5*	80*	462*	78,37*	2,05*
Х-47М2 «Кинжал»	325*	80*	1615,25*	741,82*	2,8*
Х-101	279,5*	80*	840*	65,3*	1,875*
П-800 «Оникс»	195*	80*	1365*	288,65*	2,225*
Х-35	94,25*	80*	234,5*	91,43*	1,1*

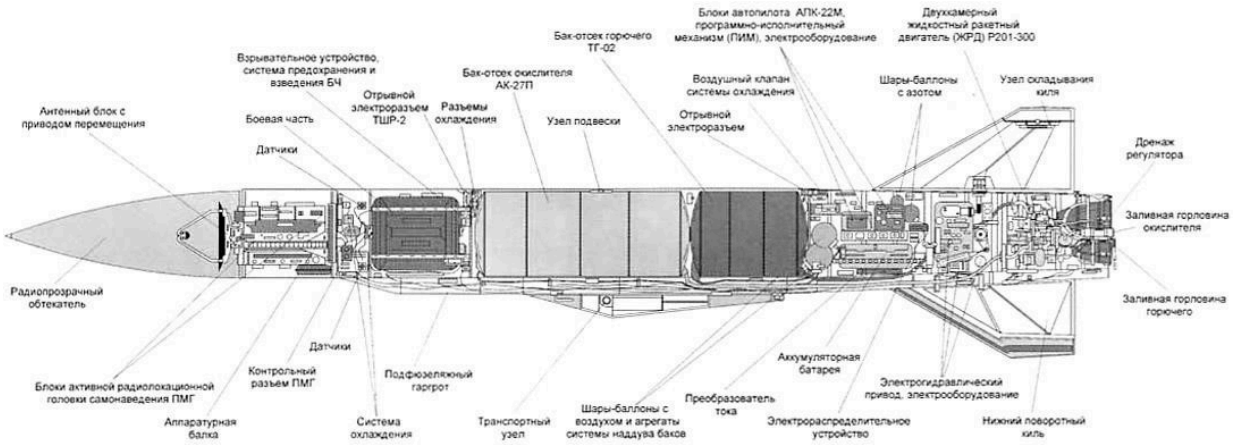
Примечание: *значение приведено на основе исследования аналогов.

Пожертвовать на русскую Победу

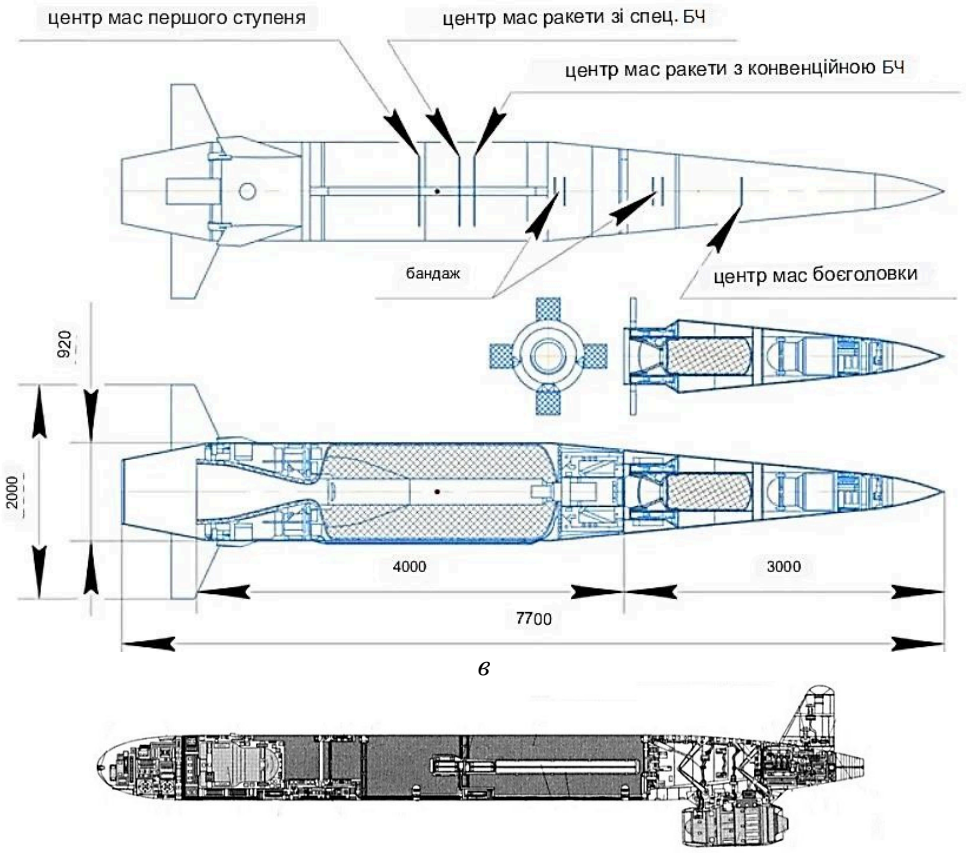
ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод



а



б



в

г

Рис. 2.5. Компоновочные схемы ракет: *а* – 9М723 (9М729) комплекса «Искандер»; *б* – Х-22 «Буря»; *в* – Х-47М2 «Кинжал»; *г* – Х-55

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

Помимо ракет, РФ наносит удары по ОКВ Украины с использованием БПЛА типов «камикадзе» или «баражующий боеприпас». Если подавляющее большинство типов ракет противника можно заблаговременно отследить и поразить украинскими системами ПВО, то БПЛА типа «баражующий боеприпас», которые использует РФ, запускаются с мобильных установок, преимущественно ночью; это средства выборочного поражения, которые, согласно статистике, часто демонстрируют более высокую точность, чем ракеты. Низкая высота полёта (50–200 м), практически полное отсутствие металлических деталей в корпусе делают БПЛА малозаметными для РЛС, а комбинированный тип наведения, до конца не изученный, обусловливает устойчивость таких БПЛА к воздействию средств РЭБ. Кроме того, массовый запуск противником БПЛА несколькими группами одновременно или поочередно с коротким интервалом, а также комбинирование с ракетами и ложными целями обеспечивают высокую проходность к цели. В реалиях 2022–2023 годов чаще всего против объектов критической инфраструктуры Украины применялись БПЛА «Shahed-131» и «Shahed-136». Это БПЛА иранского производства, закупленные РФ из-за нехватки собственных летательных аппаратов. Также из открытых источников известно о возможном строительстве заводов по сборке указанных БПЛА на территории РФ и её сателлитов. Маркировка, нанесённая противником на БПЛА «Shahed-131» и «Shahed-136» вместо оригинальной, — соответственно «Герань-1» и «Герань-2».

Основные характеристики БПЛА «Shahed-131» и «Shahed-136» приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Основные характеристики БПЛА, которые РФ использует для ударов по ОКИ в энергетике Украины

Тип БПЛА	Длина, м	Ширина, м	Вес БЧ, кг	Тип БЧ	Максимальная скорость, м/с	Стартовая масса, кг
«Shahed -131»	2,6	2,2	15…20	Мультикумулятивный, осколочно-фугасный	27,8...30	135
«Shahed -136»	3,5	2,5	50…60	Проникающе-фугасный, осколочно-фугасный	45...50	200

Как видно из табл. 2.4, БПЛА «Shahed-131» значительно уступает по ТТХ более поздней модификации «Shahed-136», поэтому далее мы сосредоточим внимание именно на рассмотрении последней. Высота полёта «Shahed-136» на маршевом участке может варьироваться от 700 м до 2000 м, при подлёте к цели — до 1500 м. На заключительном этапе полёта ударные БПЛА после выхода в район заданной цели некоторое время могут барражировать в этом районе, после чего снижаются до 150...300 м, а перед атакой цели выполняют типичный для большинства баражирующих боеприпасов маневр «горка», очевидно, для повышения кинетической силы удара и поражения верхней части цели, которая, как правило, менее защищена (рис. 2.6, 2.7). Запуск БПЛА противником ночью, возможная чёрная окраска поверхности планера, обнаруженная в конце 2023 года, —

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
машинный перевод

затрудняют их визуальное обнаружение постами наблюдения и мобильными огневыми группами.



Рис. 2.6. Вид иранского эксперимента по атаке БПЛА «Shahed-136» [12]

Беспилотные летательные аппараты «Shahed-136» имеют незначительную скорость полёта на маршевом участке (максимальная скорость — до 185 км/ч, средняя наблюдаемая — 140…150 км/ч) [14]. При горизонтальном движении скорость аппарата может достигать 45 м/с на высоте 200 м. При пикировании скорость аппарата может достигать 50…60 м/с. Угол атаки цели составляет 20...60°.



а *б*

в

Рис. 2.7. Последствия попадания «Shahed-136»: *а* — в лодку с металлическим корпусом [13]; *б* — в жилой дом в Киеве; *в* — в здание в г. Белая Церковь

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

Эксперты обратили внимание на низкую кинетику баражирующих боеприпасов «Shahed-136», что связано с относительно небольшими скоростями даже на конечной траектории наведения на цель. Планер БПЛА «Shahed-136» скомпонован в виде классического дельтообразного крыла (рис. 2.8).

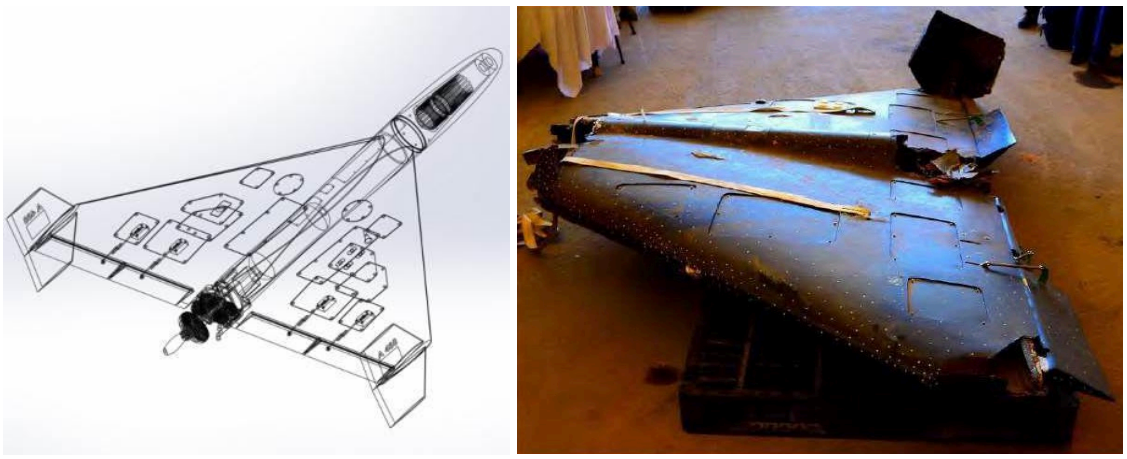


Рис. 2.8. Общий вид и структурное устройство «Shahed-136» и поврежденный корпус этого типа БПЛА

Анализ остатков БПЛА «Shahed-136» позволяет сделать вывод, что аппарат имеет несущий корпус без внутреннего каркаса, соединения — клеевые, а также с помощью металлических угловых элементов, прикрепленных болтами, которые также частично являются дополнительными элементами жесткости. Установлено, что корпус изготовлен из сотового арамида [15]. Панели из арамида образуют несущий элемент, обклеенный с двух сторон обшивкой из стеклоткани толщиной 0,13 мм [16]. Снаружи на ткань нанесено акриловое покрытие для защиты от влаги, придания цвета и обеспечения аэродинамической обтекаемости; совокупная толщина ткани с акриловым покрытием составляет 0,4 мм. Основные несущие части корпуса (фюзеляж, крылья) изготовлены с толщиной несущей обшивки 11,4 мм. Второстепенные и небольшие по размерам части корпуса (стабилизаторы, элероны) изготовлены с толщиной несущей обшивки 6,6 мм (рис. 2.9). В 2023 году также были обнаружены новые модификации БПЛА «Shahed-136», в которых используются панели из многослойного углеродного волокна.



Рис. 2.9. Толщина несущей обшивки и угловые металлические элементы креплений панелей БПЛА «Shahed-136»

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

Беспилотные летательные аппараты «Shahed-131», по результатам исследований [17] имеют БЧ с комбинированным осколочно-мультикумулятивным действием. Боевая часть БПЛА «Shahed-131» конструктивно представляет собой удлиненный заряд диаметром 140 мм и длиной 485 мм без учета высоты взрывного устройства с сегментами готовых элементов поражения и вмонтированными ударными ядрами овальной формы, расположенными в шахматном порядке и равномерно распределенными по длине корпуса основного заряда на одинаковом расстоянии. Боевая часть выполнена из фрезерованной стальной трубы, предварительно покрытой слоем никеля гальваническим методом. С нижней стороны расположена кумулятивная линза, изготовленная из меди толщиной 3 мм, диаметром 130 мм, высотой 90 мм. Это основная передняя кумулятивная часть. В верхней части заряда на клеевой основе по окружности БЧ расположены готовые элементы поражения из металла серебристого цвета кубической формы двух типоразмеров: размером 10×10×10 мм весом 7,5 г каждый в общем количестве 88 шт.; размером 8×8×8 мм — 1080 шт. весом по 4 г., расположенные по первому кругу элементов поражения верхней и нижней частей в 10 рядов, общее количество — 22 ряда. Элементы поражения снаружи покрыты слоем полиэфирной смолы и армированы стеклотканевой сеткой, которая обеспечивает прочность внешнего слоя. Общий вес поражающих элементов — 4980 г. Вес БЧ, включая материал корпуса заряда, взрывчатое вещество, кумулятивную линзу, готовые поражающие элементы, ударные ядра, элементы крепления и фиксации, составляет 19,5 кг. Основной разрывной заряд изготовлен методом литья сплава ВР в заранее подготовленный корпус со вмонтированными поражающими элементами — кумулятивной линзой, готовыми поражающими элементами и ударными ядрами. Удлиненное ударное ядро овальной формы изготовлено из меди методом горячего прессования после отливки в форму, имеет длину 90 мм, ширину 63 мм, толщину 4 мм, количество — 18 штук по 140 г каждая.

Материал ВР в БЧ однородный, без пустот и видимых кристаллов гексогена, светло-коричневого цвета, плотность заливки ВР ТГ-50 составляет г/см^3 (сплав тротила с гексогеном 50/50) составляет – 1,64…1,68 г/см^3 , первичная скорость детонации – 7650…7800 м/с. Вес заряда ВР типа ТГ-50 составляет 10 кг. Подрывник — инерционного типа с часовым механизмом отсрочки взрыва. Идентификация состояния устройства обозначена красным (боевое положение) и зеленым (транспортное положение) цветом. В нижней части взрывателя присоединена алюминиевая труба с шестью цилиндрическими шашками ВР диаметром 25 мм и высотой 19 мм, общим весом 90 г. В случае столкновения с препятствием инерционный механизм прокалывает капсюль-взрыватель, что приводит к срабатыванию детонатора, промежуточного детонатора и передает детонацию основному заряду ВР. Взрыватель не имеет механизма перевода в безопасное состояние, механизма невозможности извлечения, механизмов самоликвидации и самонейтрализации (рис. 2.10).

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод



Рис. 2.10. Боевая часть БПЛА «Shahed-131» с комбинированным, осколочным мультикумулятивным действием

На основании анализа попаданий в объекты на территории Украины установлено, что БЧ «Shahed-136» обладает фугасным действием, возможно, несколько усиленным воспламеняющим действием остатков топлива в баке.



Рис. 2.11. Коническая боевая часть БПЛА «Shahed-136» и передний заряд — ударное ядро

В данной работе мы рассматриваем поражения только от БПЛА «Shahed-136», поскольку его БЧ значительно больше и опаснее, чем аналогичная у БПЛА «Shahed-131». В октябре 2022 года экспертам удалось исследовать БЧ БПЛА «Shahed-136». Эта БЧ имеет форму конуса, толщина её усиленного

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

стального корпуса составляет 7 мм, и здесь замысел террористов, очевидно, был таким: сначала БЧ пробивает стены здания, а уже потом происходит подрыв [18]. В других случаях наблюдалось то же самое [19]. Есть сведения, что впереди конической БЧ «Shahed-136» может быть закреплен также кумулятивный заряд — ударное ядро весом до 1 кг для пробивания отверстия в оболочке или стене целевого объекта и проникновения основной БЧ (рис. 2.11).

Собственное исследование оболочки БЧ «Shahed-136» показало её геометрические параметры, приведённые на рис. 2.12. По данным британских исследователей [12], анализ обломков «Shahed-136» после взрыва и взрывохимические тесты выявили наличие ВР — гексогена.

Более поздняя публикация [20] и собственные измерения подтвердили предположение экспертов о том, что общий вес БЧ составляет около 25 % от максимальной взлётной массы БПЛА. Если общая масса БПЛА «Shahed-136» составляет около 60 кг, можно предположить, что вес ВР — 20…30 кг.

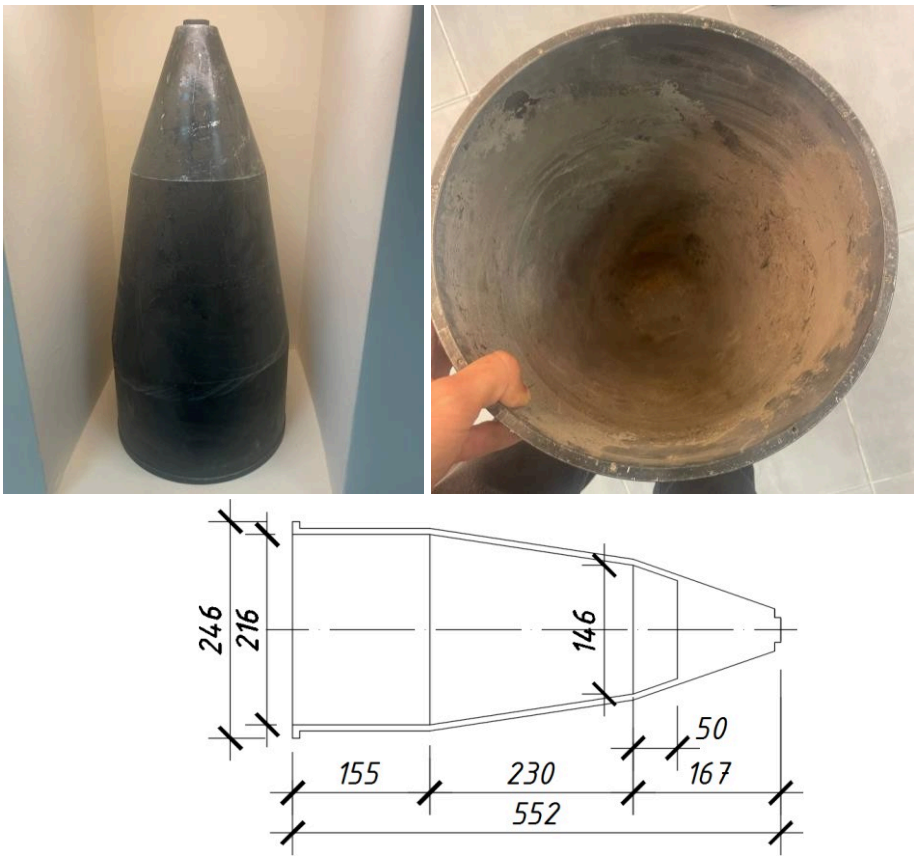


Рис. 2.12. Внешний вид и типоразмеры стальной оболочки БЧ «Shahed-136»

Взрыватель, по данным [20], может быть настроен на мгновенное или замедленное срабатывание. Следовательно, даже в случае механической остановки планера БПЛА каким-либо препятствием тяжелая коническая БЧ теоретически может по инерции проникнуть дальше, разрушая обтекатель, что делает её проникающе-фугасной. Анализ места разрыва БЧ «Shahed-136» после сбивания показал, что воронка имеет диаметр около 5 м и глубину 1,62 м. Самый крупный выборочный осколок, найденный на месте взрыва, имеет размеры 9×2 см, толщину 0,7 см (рис. 2.13, *а*).

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

В 2023 году был обнаружен ещё один тип БЧ «Shahed-136», который, вероятно, является стандартным боезарядом советского или российского производства из противотанковых или зенитных ракет либо другого типа вооружения (рис. 2.13, *б*).



а



б

Рис. 2.13. Последствия разрыва БЧ «Shahed-136»: *а* — воронка и размеры осколков с места взрыва; *б* — новый тип БЧ, обнаруженный в 2023 году

Рассмотрим возможную угрозу со стороны ракет ЗРК и бомб. В ближней зоне к государственной границе с РФ и РБ и к линии соприкосновения опасность представляют ЗРК противника с достаточно небольшим радиусом действия. Это, прежде всего, комплексы С-300, С-400/«Торнадо-С» и планирующие бомбы (рис. 2.14). Их основные характеристики приведены в табл. 2.5. Данные о таких ЗПН взяты из открытых источников.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

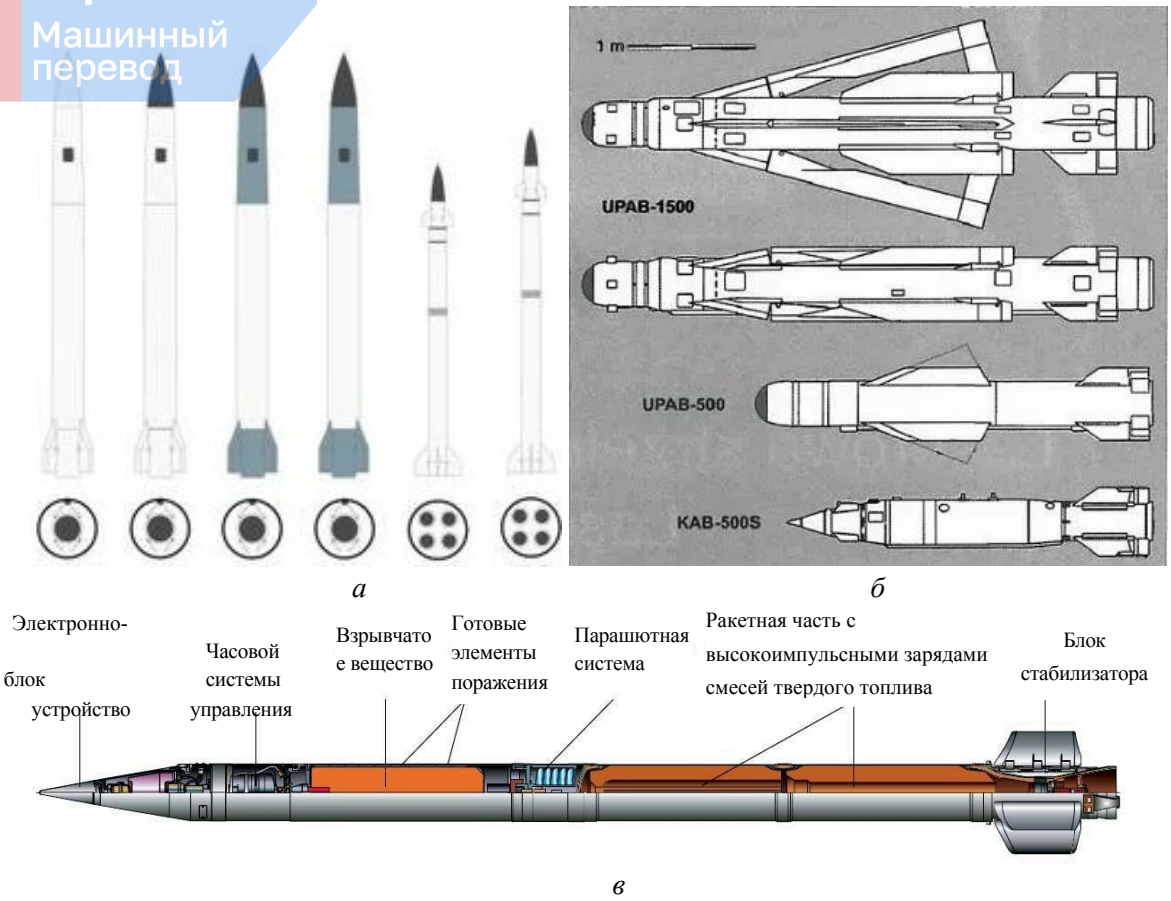


Рис. 2.14. Средства воздушного нападения малого радиуса: *а* – типы ракет комплекса С-300; *б* – планирующие бомбы; *в* – реактивный снаряд 9М528 «Торнадо-С»

Таблица 2.5

Основные данные о ЗПН РФ ближнего радиуса действия

Тип ЗПН	Длина, м	Диаметр, м	Масса БЧ, кг	Максимальная скорость, м/с	Стартовая масса, кг
5В55Р / 5В55К (С-300)	7,25	0,508	133	2100	1850
КРС* 9М528 (осколочно-фугасный «Торнадо-С»)/С-400 «Триумф»	7,6	0,3	243	900	560
КАБ-500/ КАБ-500Т	3,05	0,4	534	277,78	534
КАБ-1500Л	4,545	0,58	1500	222,22	1500
УПАБ-1500Б-Э	5,05	0,4	1525	277,78	1525

*КРС – управляемый реактивный снаряд

Дополнительные данные о ЗПН, необходимые для расчетов инженерной защиты, приведены в табл. 2.6.

Для авиабомб длина БЧ может быть принята равной длине бомбы, а скорость в момент попадания — максимальной.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

Таблица 2.6

Дополнительные сведения и вероятные характеристики ракет, которые РФ использует для ударов по ОКИ в Украине

Тип ЗПН	Масса ВР, кг	Угол встречи, град.	Масса в момент попадания, кг	Скорость в момент попадания, м/с	Длина БЧ, м
5В55Р / 5В55К (С-300)	60	90	647,50*	693*	1,813*
КРС 9М528 (осколочно-фугасный «Торнадо-С») /С-400 «Триумф»	100*	90	196,00*	297*	1,9*
КАБ-500/ КАБ-500Т	304,2	90	534	277,78**	3,05
КАБ-1500Л	616	90	1500	222,22**	4,545
УПАБ-1500Б-Э	700	90	1525	277,78**	5,05

*значение предположено на основе аналогов;
**для авиабомб скорость в момент попадания принятая такой, что равна максимальной.

Основной общей чертой приведенных ЗПН является возможность их неоднократного попадания в конструкцию защищаемого объекта. Наиболее эффективной мерой защиты объектов является удаление возможной точки попадания, поэтому ОКИ должны быть расположены за пределами досягаемости указанных ЗПН — около 100 км для предотвращения поражения С-300, С-400/«Торнадо-С» и 50…75 км для планирующих бомб. Ожидается, что наращивание систем ПВО в Украине и предоставление иностранными партнерами самолетов типа F-16 с дальнобойными ракетами позволит поражать наземные и воздушные средства пуска, а после победы Украины полоса безопасности должна быть расположена на территории РФ и РБ. В дальнейшем в качестве основных факторов угроз со стороны ВВС противника будем рассматривать только БПЛА типа «Shahed-136», а также баллистические и аэробаллистические ракеты оперативного уровня.

2.2. Особенности и возможности нанесения воздушных ударов Российской Федерацией по критической энергетической инфраструктуре Украины

Распределение критически важных объектов энергетической отрасли по территории Украины характеризуется неравномерностью и относительно высокой концентрацией в отдельных регионах (рис. 2.15). Этот факт, а также большая протяженность границы и линии соприкосновения с РФ, границы с РБ и, соответственно, малое время подлета ЗПН делают объекты уязвимыми для ударов противника.

По результатам наблюдений установлено, что РФ непрерывно меняет тактику применения ЗПН, варьируя цели, задействованные носители, количество и порядок запуска средств, применение ложных целей, радиоразведку, создание радиопомех и т. п.

Условия нанесения воздушных ударов РФ, очевидно, могут варьироваться в зависимости от многих факторов, включая погоду, расположение объектов, особенности их защиты, возможности нанесения удара и цель атаки.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод



Рис. 2.15. Основные объекты критической инфраструктуры топливно-энергетического комплекса на карте Украины

Однако можно выделить несколько особенностей тактики нанесения воздушных ударов РФ по энергетике Украины:

1) обеспечение максимального эффекта — РФ пытается наносить удары по наиболее уязвимым объектам, таким как главные электростанции и подстанции, чтобы обеспечить максимальный эффект атаки;

2) экономия ВУ и их носителей — из-за значительной ограниченности имеющегося количества ВУ и их носителей, физического износа и исчерпания ресурса РФ вынуждена концентрировать атаки по территориальным и временным параметрам;

3) комплексность атак — РФ использует различные типы самолетов, БПЛА и ракет, чтобы обеспечить комплексные атаки на энергетическую инфраструктуру и повысить их эффективность;

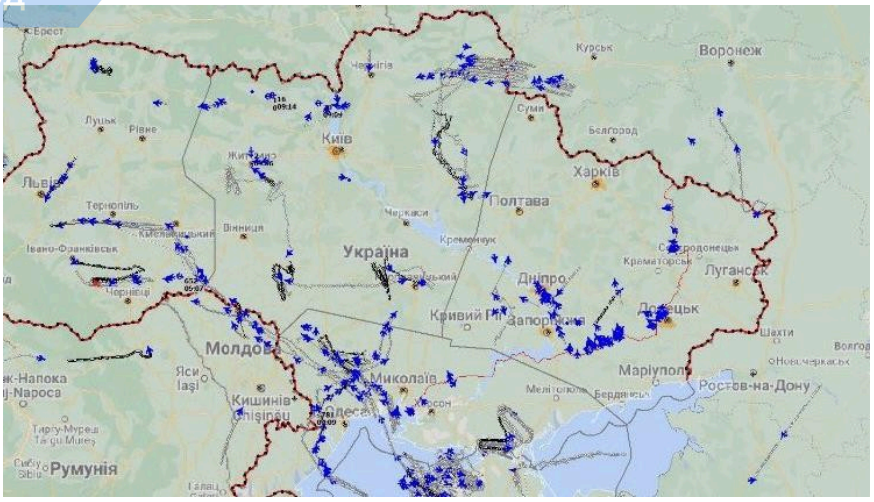
4) использование РЭБ и других средств – РФ использует электронные средства, чтобы снизить эффективность систем ПВО Украины и обеспечить большую точность своих ударов. Спутниковая и агентурная разведка, аэрофотосъемка, мониторинг киберпространства широко применяются РФ для уточнения результатов атак и корректировки сценариев дальнейших атак;

5) нерегулярность и нешаблонность атак — в основном атаки используются как средство запугивания или ответа на успешные действия ВС Украины, иногда приурочиваются к конкретным датам, но в целом их сложно предсказать. Траектории управляемых ракет и БПЛА противника при этом могут пролегать по косвенным, обходным маршрутам, в низинах, над реками и

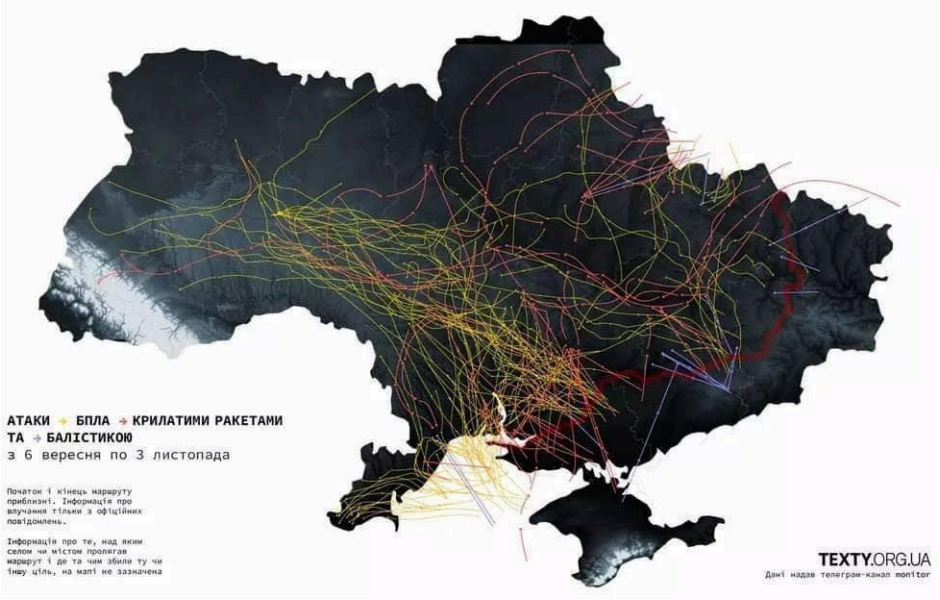
Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

дорогами для обхода системы ПВО Украины и введения в заблуждение (рис. 2.16) [21].



а



б

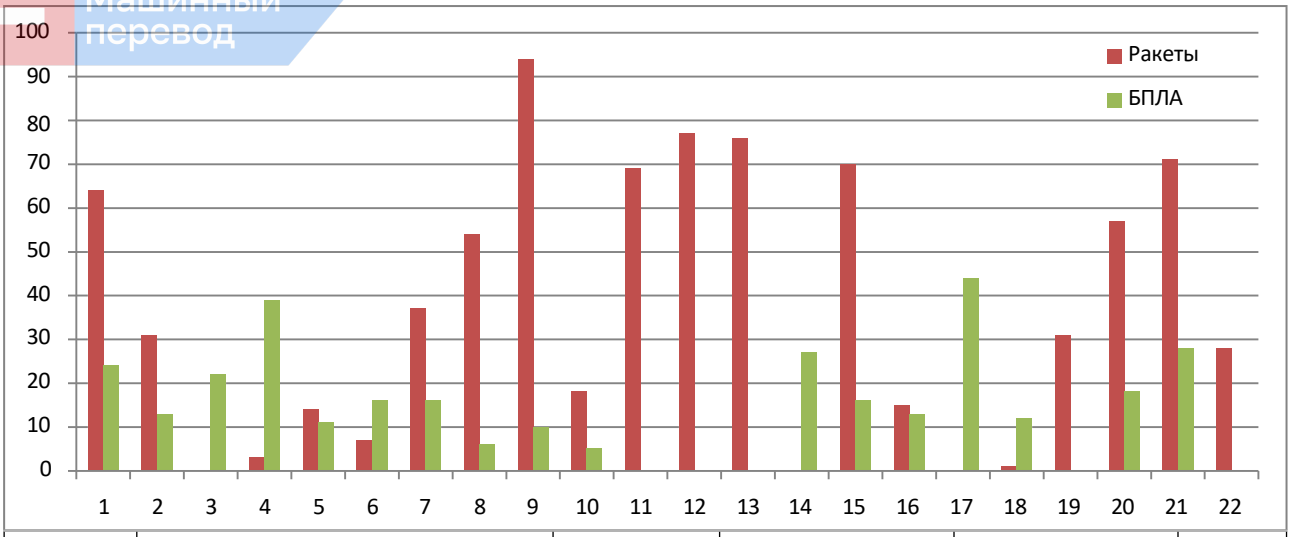
Рис. 2.16. Траектории ЗПН РФ при атаках 10.10.2022 г. (*а*) и с 6.9.2023 по 3.11.2023 (*б*)

Собранная статистика воздушных ударов РФ по критической энергетической инфраструктуре Украины отражает перечисленные особенности их тактики (рис. 2.17). Однако следует учитывать и то, что, помимо оперативного планирования, на особенности воздушных ударов РФ существенно влияют политические факторы внутри РФ, производственные мощности и возможность импорта БПЛА, ракет или/и их компонентов противником.

Отдельные известные данные об ориентировочных запасах и возможностях производства ракет РФ приведены в табл. 2.7. В середине 2023 года стало известно, что РФ частично построила, а частично строит новые заводы и нарастила производство ракет и БПЛА типа «Шахид» (рис. 2.18). Это представляет собой новые вызовы для Украины, в частности в сфере защиты критической инфраструктуры, и подтверждает важность наращивания количества систем ПВО и, несомненно, инженерной защиты ОКИ.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод



Месяц:	Октябрь 2022								Ноябрь 2022			Декабрь 2022					Январь 2023				Февраль 2023	
№ события	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Число месяца	10	11	12	17	18	19	22	31	15	17	23	5	16	19	29	31	1	2	14	26	10	16
Ракеты	64	31	0	3	14	7	37	54	94	18	69	77	76	0	70	15	0	1	31	57	71	28
БПЛА	24	13	22	39	11	16	16	6	10	5	0	0	0	27	16	13	44	12	0	18	28	0

Рис. 2.17. Статистика применения ЗПН РФ против ОКИ энергосектора за осень–зиму 2022–2023 года

Таким образом, РФ располагает достаточными возможностями для нанесения воздушных ударов по энергетическим объектам инфраструктуры Украины ещё в течение длительного времени. Имеющиеся данные о производстве позволяют прогнозировать продолжение тактики накопления ракет и их смешанного использования — как складских запасов, так и новейших образцов.

Таблица 2.7

Имеются отдельные данные о примерных возможностях РФ по производству ракет (по состоянию на середину 2023 года)

Тип ракеты	Комплекс	Приблизительные известные производственные мощности производства
9М723	«Искандер»	5
9М728	«Искандер»	2
3М-14 «Калибр»	Морские носители	25
Х-101	Ту-160, Ту-95	35
Х-555, Х-55СМ	Ту-160, Ту-95	–
Х-22, Х-32	Ту-22М3М	–
Х-47М2 «Кинжал»	МиГ-31К	6
3М-55	«Бастион»	–
5В55	С-300П	–
Х-29, Х-31, Х-35, Х-58, Х-59	Су-30, Су-34, Су-35	45
Итого		118

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

Что касается БПЛА, то пока невозможно даже прогнозировать их потенциал. По разным данным, в начале осени 2022 года Россия получила до нескольких тысяч БПЛА-камикадзе иранского производства [23].

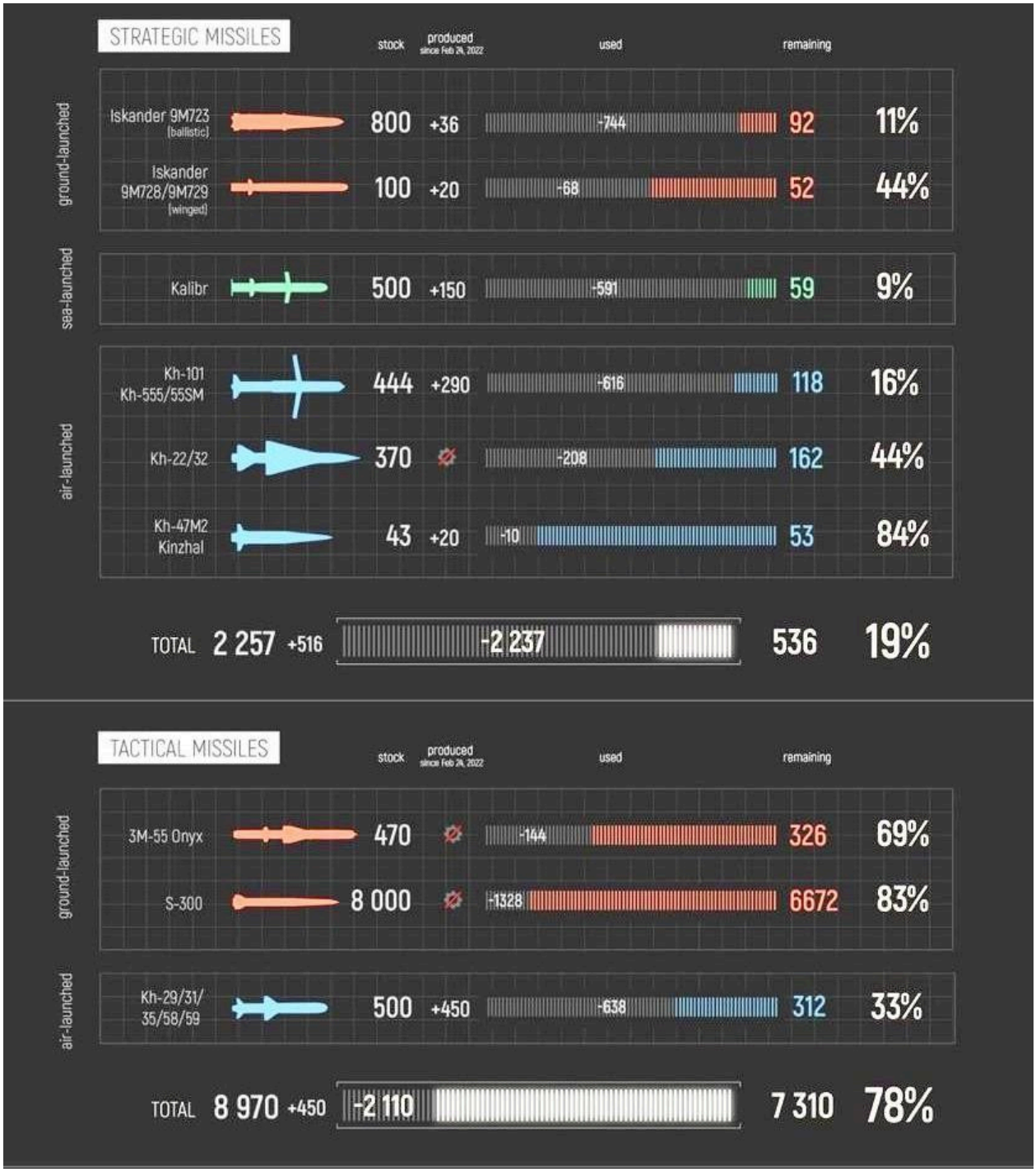


Рис. 2.18. Отдельные известные данные об ориентировочных запасах ракет в РФ (по данным Минобороны Украины) [22]

Еще несколько десятков или сотен БПЛА в месяц может поставлять Иран и/или их собирают на мощностях РФ. Так, в частности, летом 2023 года РФ локализовала производство «Shahed-136» на новом заводе в Татарстане за р. Волгой (промышленно-экономическая зона «Алабуга»). Заявленная мощность — до 3000 БПЛА/год [24]. Также можно наблюдать значительную интенсификацию

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН

полетов и судоходного сообщения между РФ и Ираном, что указывает на поставки компонентной базы для производства иранских БПЛА. Очевидно, что для компенсации потерянных ЗПН противник будет наращивать собственное производство БПЛА, чтобы восполнить ракеты, большинство из которых уже давно не производятся на территории РФ или их изготовление требует применения подсанкционных компонентов. Очевидно, что поставки компонентов высокоточных ЗПН или даже самих ЗПН пока возможны в РФ также через третьи страны-посредники или страны-производители, в которых эти средства стоят на вооружении (Китай, Северная Корея и другие).

Характер поражения элементов ОКИ энергетической отрасли Украины зависит от особенностей элемента ОКИ, параметров ЗПН, эффективности системы ПВО и степени инженерной защищенности элемента ОКИ (рис. 2.19–2.21).



Рис. 2.19. Результаты поражения ЗПН элементов ОКИ энергетической отрасли Украины: трансформаторы

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

Так, для элементов энергетического распределения характерными повреждениями являются: пробивание осколками стенок трансформаторов, реакторов и баков-расширителей на них, что приводит к выливу масла и возможному последующему пожару, разбивание осколками и ВУХ изоляции на бушингах, что приводит к короткому замыканию, разрушение систем противопожарной защиты и противопожарных стен, обрыв ЛЭП, разрушение опор, что приводит к прекращению подачи электроэнергии (см. рис. 2.19).





Рис. 2.20. Результаты поражения ЗПН элементов ОКИ энергетической отрасли Украины: машинные залы ТЭС/ТЭЦ

Поражение зданий и сооружений (например, машинных залов ТЭС/ТЭЦ, пунктов управления) вражескими высокоэнергетическими снарядами характеризуется следующими повреждениями: пробоины и обрушения конструкций кровель, стен и перекрытий, первичные и вторичные пожары рабочего оборудования, емкостей и аппаратуры, поражение мест нахождения или укрытия персонала, вторичные

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

повреждения от осколков стекла, выбивание бетонных и кирпичных элементов, нарушение коммуникаций и т. п. Трещины и пробоины приводят также к нарушению герметичности ограждающих конструкций, что может повлечь за собой снижение производительности или приостановку функционирования внутреннего оборудования (см. рис. 2.20).



Рис. 2.21. Результаты повреждений объектов энергетики Украины: резервуары и емкости для нефтепродуктов

Наземные трубопроводы, резервуары и емкости с горючими жидкостями и газами используются на многих типах объектов энергетической отрасли Украины. В результате поражения ЗПН противника эти объекты подвергаются следующим характерным повреждениям: утечка жидкостей и газов из емкостей, возгорания и разрушительные пожары и взрывы, которые приводят к значительному разрушению элемента и повреждают смежные и прилегающие элементы и оборудование ОКИ.

Приведенные выше результаты поражения элементов ОКИ ЗПН противника подчеркивают важность систем инженерной защиты как основной составляющей национальной безопасности Украины и требуют интегрального системного подхода к их внедрению во всех стратегических отраслях.

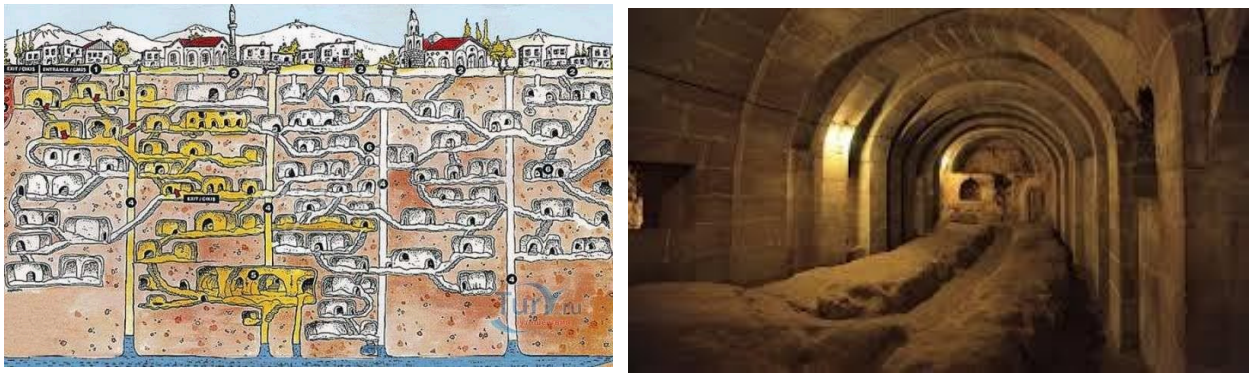
Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН

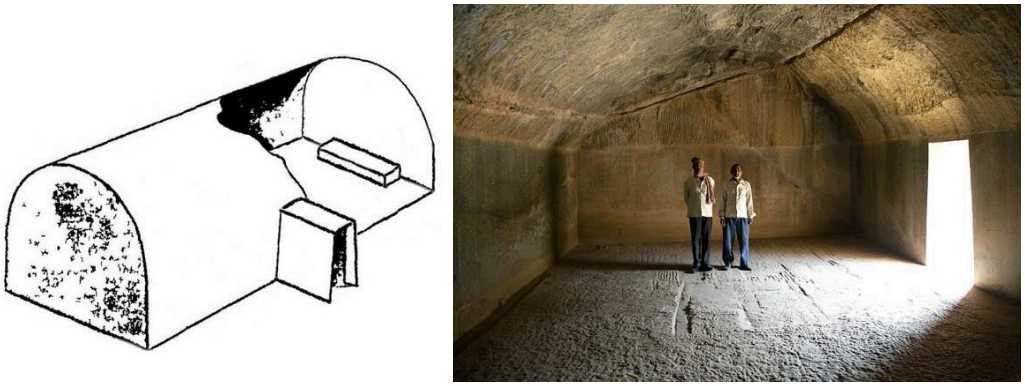
РАЗДЕЛ 3. СИСТЕМЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ ПО ПРИНЦИПУ «СТРАНА-КРЕПОСТЬ»

3.1. Ретроспективный обзор инженерной защиты объектов критической инфраструктуры

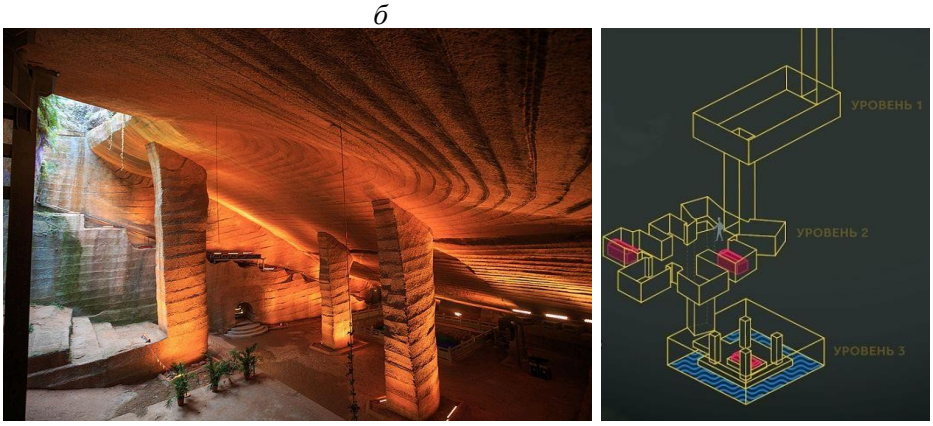
История применения укрепленных сооружений отражает тысячелетний конфликт между защитником и нападающим. В отношении укрытий критической инфраструктуры это связано с прогрессом в развитии трех компонентов:
1) роли энергетики как отрасли экономики; 2) средств нападения противника;
3) технических возможностей инженерной защиты объектов.



а



б



в *г*

Рис. 3.1. Древние стратегические укрытия: *а* – Деринкую (Турция); *б* – Барабар (Индия); *в* – Лунь-ю (Китай); *г* – Шахта Осириса (Египет)

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

Первый этап развития укрытий можно назвать доисторическим. В те времена, вероятно, почти все элементы инфраструктуры были жизненно важными для существования общин, а энергетическая отрасль не была отделена от общего хозяйства.

Долгое время подземные укрытия или укрытия, устроенные в горизонтальных пещерах, оставались единственными надёжными местами, обеспечивавшими одновременно защиту как от внешних угроз, так и от погодных условий для цивилизаций прошлого. Известным историческим фактом является то, что в древние времена группа из 900 палестинцев защищалась от римской армии на плато Маддер, на объекте «Масада», который существует и по сей день. Мужчины, женщины и дети, не все из которых были воинами, сдерживали 15 000 легионеров. Римлянам пришлось разработать специальный таран для штурма сооружения.

Подземные города глубиной до 30 уровней известны в древней Турции (Деринкуй, Невшехир и др.); глубокие пещеры в Индии (пещеры Барабар [1]) и Китае (пещеры Лунь-ю [2]), подземные бункерные сооружения Египта (шахта Осириса и др.), сооружения в других странах служили для укрытия от неизвестных угроз, сопоставимых с ядерными [3, 4] (рис. 3.1).

Нетривиальным направлением развития защиты критически важных объектов был их перенос на скальные или горные плато. По таким принципам, например, устроены комплексы Мачу-Пикчу в Перу, Сигирия на о. Шри-Ланка, многочисленные храмы в Азии (рис. 3.2). При этом средства поражения противника, наиболее опасными из которых были кинетические (баллисты, луки, катапульты), не представляли существенной опасности для подобных сооружений, а высокогорность затрудняла их обнаружение разведкой и доступ пехоты.



а *б*

Рис. 3.2. Возвышение как инженерный способ обеспечения недоступности критически важных объектов: *а* — Мачу-Пикчу (Перу), *б* — Сигирия (Шри-Ланка)

В позднюю античность VIII–VI веков до н. э. греческие города-полисы, в частности Спарта и Афины, благодаря особенностям рельефа, возможностям морского сообщения и хозяйственному устройству Древней Греции приобрели эффективность как высокоавтономные экономические и военные единицы (рис. 3.3, *а*). Сосредоточение в городе-полисе ключевых элементов инфраструктуры обусловливало их значительную

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН

устойчивость во время осад и нападений противников как с суши, так и с моря, к которому эти города примыкали [5].



а *б*

Рис. 3.3. *а* — Типичный приморский город-полис Древней Греции; *б* — легендарный город-крепость Каркассон во Франции

Вторым этапом развития подземных укрытий можно назвать фортификационное строительство в эпоху Средневековья, когда дальнобойные средства врага кинетического действия (пушки, требушеты) уже могли поразить критически важные элементы замка во время осады (колодец, пороховой склад, казармы и т. п.), и их размещали под землей или за толстыми многорядными стенами. Одним из ярких примеров можно назвать легендарный город-крепость Каркассон во Франции, который неоднократно выдерживал штурмы и осады в эпоху Средневековья [6] (рис. 3.3, *б*). Крепости и замки играли значительную роль в защите общин в средние века, поэтому часто содержали разветвленные подземные туннели и сооружения. Энергетическая отрасль в те времена постепенно стала выделяться как самостоятельное звено хозяйства, но не была столь критичной, как вода, провиант или безопасность.

Третий этап развития укрытий связан прежде всего с ростом роли огнестрельного оружия, появлением авиации и мощной артиллерии, когда потребность в укрытии критически важных элементов городов стала насущной, что наиболее ярко проявилось в создании укрытий и бомбоубежищ во время Первой и Второй мировых войн. Отметим, что в результате научно-технической революции и индустриализации во второй половине XIX века энергетическая отрасль стала ведущей в инфраструктуре, способствовала механизации и обеспечению самых насущных потребностей человечества. Есть несколько примеров подземных оборонительных сооружений времен Второй мировой войны, в которых инфраструктура играла ключевую роль. В частности, Франция построила в 1930-х годах 235-километровую линию Мажино, чтобы остановить любые возможные немецкие вторжения (рис. 3.4). Каждый форт этой линии включал шести-семиуровневые оборонительные бункеры, в которых размещались казармы, медпункты, склады, боеприпасы, дизельные электрогенераторы, а также железнодорожные соединения и даже подземные стоянки техники и самолетов. На Гибралтаре также было построено оборонительное сооружение, с помощью которого союзники могли контролировать вход в Средиземное море и которое позже стало платформой для нападений на войска Германии в этом районе.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН

Комплекс включал километры туннелей и госпиталей, склады боеприпасов, запасы кораблей, ремонтные мастерские и помещения штаба.

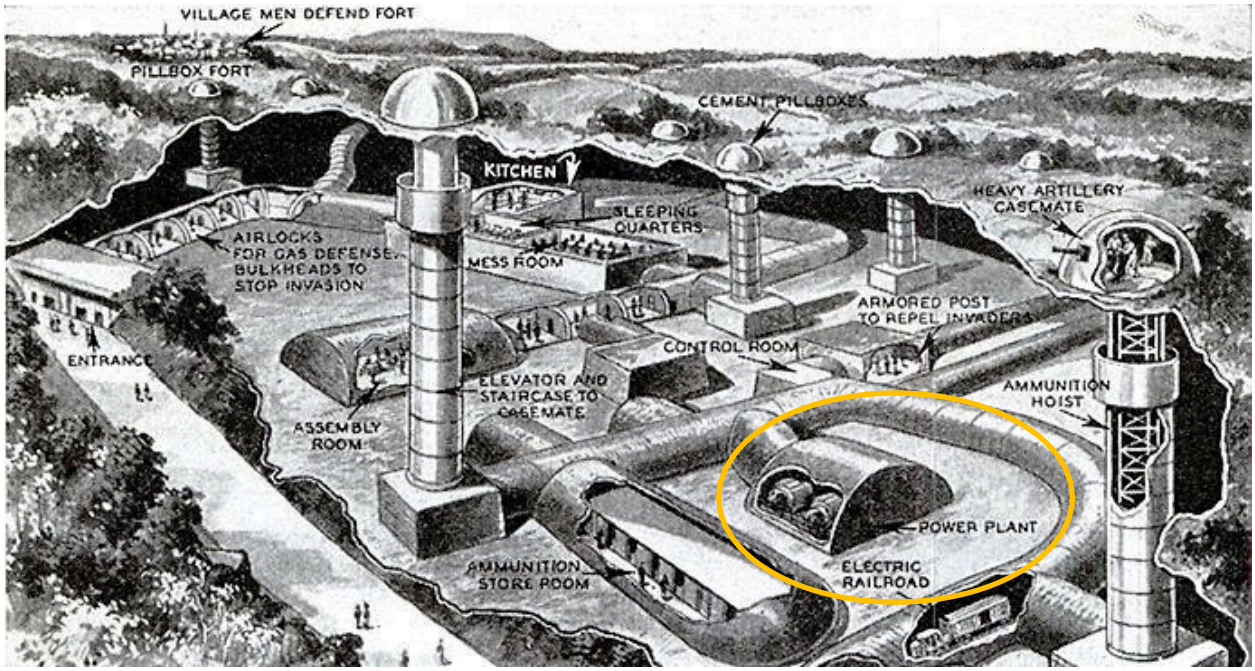


Рис. 3.4. Линия Мажино, схема форта Шонненбург (Франция). Обведена подземная электростанция

Во время войны немцы использовали заброшенные горные шахты для перемещения части своей военной промышленности из-за интенсивных бомбардировок союзников, а также пытались изготавливать оружие массового поражения под землей, для чего создали комплексы с развитой инфраструктурой. Немецкая ракета «Фау-2» была собрана и запущена из подземного помещения с укреплённым бетонным куполом толщиной 5 м. Многие доки для немецких подводных лодок также были заглублены и защищены инженерными сооружениями. Союзники разработали специальные бомбы весом от 12 000 до 22 000 фунтов для атаки на такие надежные объекты.

Ковровые бомбардировки, а также массированные ракетные обстрелы Лондона повлияли на решение разместить центры управления, генерации и другие важные элементы под землей, заставили пересмотреть уровни и источники угроз, а также саму философию проектирования инженерной защиты инфраструктуры.

Четвертым этапом развития укрытий можно назвать период холодной войны. После появления оружия массового поражения многие страны внедрили новые подходы к защите, прежде всего, энергогенерирующих предприятий, а также производств военного назначения, общественных центров и т. п. В частности, в Норвегии подземное расположение имеют более 200 гидроэлектростанций и тысячи дизельных генераторов (рис. 3.5) [7].

Аналогичные шаги предприняты в Швейцарии, Швеции, частично в Канаде и других странах. Например, в эпоху холодной войны шведы разместили многие военные объекты в подземных сооружениях — это стало своеобразным

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

скандинавским ответом на вероятную угрозу применения ядерного оружия, особенно со стороны Советского Союза.

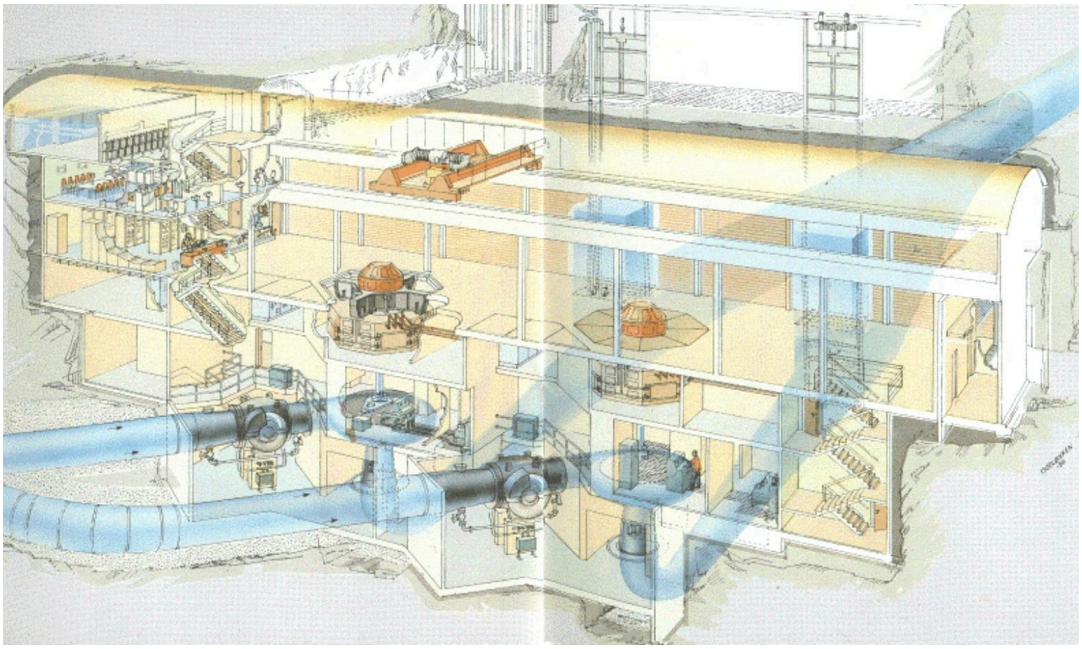


Рис. 3.5. Норвежская подземная гидроэлектростанция

По конструкции эти сооружения напоминали противорадиационные убежища. Швеция не скрывала причины использования подземных сооружений для критически важной инфраструктуры; в конечном итоге вся Скандинавия в целом начала развивать подземное строительство, ориентированное на оборону, что стало мощным импульсом для этой программы и развития подземной инфраструктуры в мире. Удовлетворив оборонные потребности, скандинавы начали аналогичным образом защищать промышленность, чтобы она могла работать одинаково эффективно как в мирное, так и в военное время. В настоящее время именно в Скандинавии находится множество подземных инфраструктурных сооружений, в том числе для объектов энергетики, которые не связаны напрямую с обороной, но обладают соответствующими инженерными защитными свойствами. Некоторые из них также были построены с учетом эстетических, экологических или иных проблем использования пространства. В качестве конкретных примеров можно назвать подземные сооружения для управления воздушным движением, заглубленные телефонные станции, предприятия по очистке сточных вод, резервуары для хранения питьевой воды, сооружения для хранения архивных материалов, топлива, продовольствия, радиоактивных отходов и т. п. (рис. 3.6).

В настоящее время можно утверждать, что наступил пятый этап развития инженерной защиты ОКИ, предпосылкой которого является:

- появление высокоточных ЗПН противника;
- существенное увеличение скоростей СВУ противника, в частности ракет;
- необходимость учета избирательности ЗПН в отношении поражения целей.

С насыщением, усложнением инфраструктуры и глобализацией появились новые измерения в понятии её критичности и устойчивости, а также новые вызовы и угрозы.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

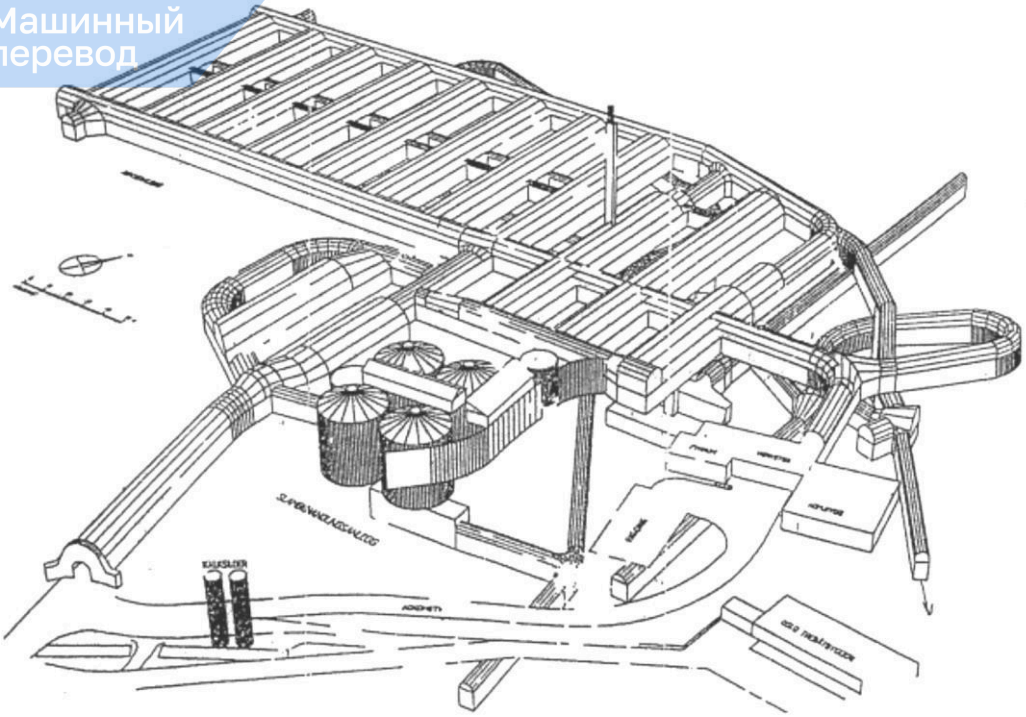


Рис. 3.6. Норвежская подземная станция по переработке отходов

Современный взгляд на подземный вариант защиты ОКИ начал формироваться в конце 90-х — начале 2000-х годов в связи с распространением международного терроризма и появлением киберугроз [8, 9]. Странами, которые использовали подземные сооружения не в оборонных целях, а для защиты критически важной инфраструктуры, тогда были лишь Норвегия, Швеция, Финляндия и Швейцария. В этих странах разработаны основательные программы подземной защиты КИ, поэтому целесообразно воспользоваться их знаниями и опытом. Например, в Финляндии построено более 50 тыс. бомбоубежищ и 300 км туннелей.

В США наибольшее количество укрытых объектов критической инфраструктуры исторически расположено в штате Канзас, поскольку с давних времён там ведётся горные работы по добыче полезных ископаемых. В настоящее время примерно 90 % освоенных и арендуемых коммерческих подземных площадей в мире расположены именно в районе Канзас-Сити. Там государственные и частные учреждения арендуют более 30 млн квадратных футов и ежегодно добавляют к ним 2 млн квадратных футов, доступных для разработки; в резерве имеется более 300 млн квадратных футов добытого пространства; примерно 6 млн квадратных футов ежегодно добавляются к новым объемам добычи полезных ископаемых. В Канзас-Сити около 50 предприятий работают под землей, к работе на них привлечено около 10 тыс. работников. Таким образом, инженерная защита ОКИ в мире развита неравномерно, имеет широкую историческую основу и реализована преимущественно в виде подземного погружения объектов.

Основными преимуществами подземного расположения ОКИ являются:

– максимальная защита и визуальная маскировка;
– относительно стабильная среда, защищённая от погодных условий;

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

– при использовании готовых подземных сооружений достигается значительная экономия на утеплении;

– годовые расходы на электроэнергию составляют примерно 15 % от расходов на здания, расположенные на поверхности земли, что является огромной экономией. Экономия связана прежде всего с отсутствием значительных потребностей в отоплении и кондиционировании, а также с возможностью использования тепловой энергии Земли.

Недостатками подземного расположения ОКИ являются:

– высокая стоимость и длительность строительства подземных сооружений, если их возводят с нуля, без использования готовых пещер или штолен;

– необходимость обустройства дополнительной вентиляции и систем жизнеобеспечения для нормального функционирования ОКИ.

Такие страны, как Норвегия, Швеция, Япония и Китай, обладают значительным опытом высокотехнологичного подземного строительства. Еще в 1945 году Комиссия по вопросам обороны и правительство Норвегии определили поражение ОКИ как ключевую угрозу национальной безопасности. С тех пор Норвегия начала разрабатывать общую систему обороны, объединявшую военные и гражданские объекты, чтобы предотвратить перерастание критических ситуаций в катастрофы. Основная часть программы была реализована в 1992–1993 годах, но в то время усилия были сосредоточены на кибератаках и сбоях в банковской системе в большей степени, чем на инженерной защите. Норвегия первой из стран мира установила требования к чрезвычайным ситуациям для КИИ и принципы организации их урегулирования. В норвежской модели защиты КИ подчеркивается, что критически важную инфраструктуру необходимо защитить от всех возможных средств нападения противника, обеспечить эффективную гражданскую защиту населения и организовать систему устранения повреждений, которые могут возникнуть в результате попаданий ЗПН в КИ. Службы, занимающиеся этими направлениями, должны быть обязательно включены в общую систему обороны. Следует отметить, что гражданская оборона в Норвегии очень хорошо организована на национальном, окружном и муниципальном уровнях. Её готовность охватывает следующие основные направления: обеспечение продовольствием (для некоторых товаров необходим запас до 12 месяцев); обеспечение водой; канализация; экологические угрозы (например, прорыв дамб); одежда; логистика; энергия; промышленность и торговля; коммуникации, координация гражданской обороны, средства массовой информации, радио, полиция; строительные системы.

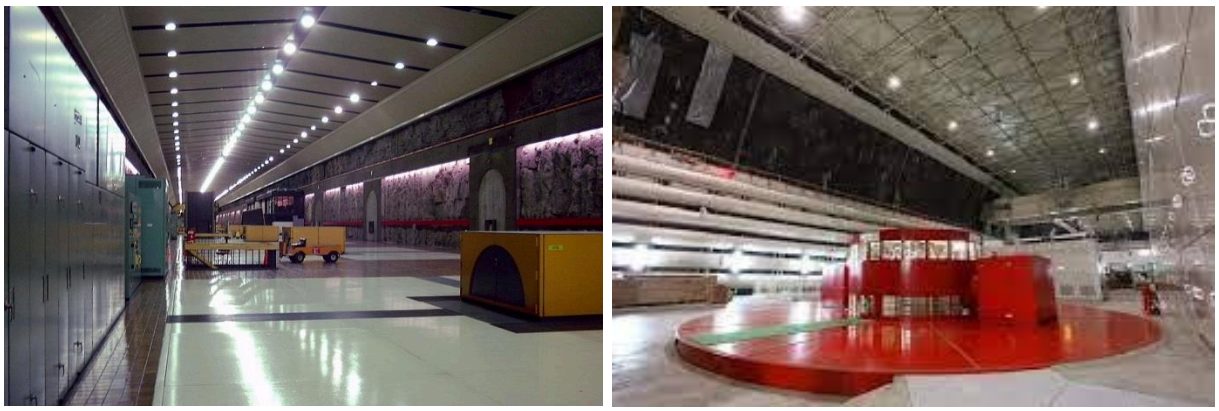
Около 75 % населения Норвегии имеют доступ к надлежащим хранилищам и укрытиям. Большая часть энергетических ресурсов хранится под землей. В этой стране более 200 подземных электростанций, в том числе связанных с ними энергообъектов, например трансформаторов и электрических распределительных устройств. Многие нефтеперерабатывающие предприятия, склады горюче-смазочных материалов, насосные и автозаправочные станции также расположены под землей. Кроме того, вода, свежие продукты, глубокозамороженные и охлажденные продукты хранятся под землей со сроком годности в несколько месяцев, телекоммуникации и системы управления воздушным движением также защищены в подземных сооружениях. Под поверхностью расположены несколько

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

заводов по производству боеприпасов и продуктов питания. Норвежский олимпийский подземный каток на 5000 мест имеет ширину 62 м.

Во время возможной войны норвежские компании меняют не свою организационную структуру, а форму. Предусмотрено использование подземных укрытий для военных штабов, политических органов, управления гражданской обороной, органов управления связью, автомобильным и железнодорожным транспортом. В Норвегии подземные укрытия существуют для армии, флота, авиации и береговой обороны, а также для некоторых союзников по НАТО (Великобритании, Соединённых Штатов Америки, Нидерландов и Германии). Прибрежное наблюдение предполагается вести из укрытий с помощью выдвижных подземных антенн и камер. Ракетное вооружение при этом может быть расположено над землей, а в случае необходимости перемещено под поверхность за 8…10 с. В Норвегии также имеется множество подземных сооружений двойного назначения. В мирное время их используют как спортивные и плавательные бассейны, в военное время их можно быстро переоборудовать в укрытия или сооружения другого назначения. Так, в норвежском городе Йовик (Gjøvik) на территории подземного хранилища расположены хоккейный каток, штаб полиции и гражданской обороны, телекоммуникационный центр. Все эти помещения оснащены сложными системами вентиляции и отопления. Уже на протяжении нескольких десятилетий Норвегия строит до 75 км современных туннелей в год. В горах также продолжается активное строительство подземных сооружений. Бесспорно, в случае двойного назначения защитных укрытий существует угроза потери функций или несвоевременности их приведения в соответствие с первоначальным назначением в случае возникновения угрожающей ситуации. Однако для энергетической отрасли такая опасность сведена к минимуму, поскольку оборудование и, соответственно, сооружения инженерной защиты используются практически постоянно, а технологические условия ограничивают возможности какого-либо иного использования сооружений. С 90-х годов XX в. подземные и защищенные в инженерном смысле электростанции строят Канада, Индия, Япония, Китай, Южная Корея, Германия, Великобритания, Израиль, Новая Зеландия и некоторые другие страны [10] (рис. 3.7, 3.8).



а *б*

Рис. 3.7. *а* — Электростанция «Robert-Bourassa» в северном Квебеке (Канада) с установленной мощностью 5,616 МВт; *б* — насосно-аккумулирующая гидроэлектростанция «Kazunogawa» (Япония) с установленной мощностью 1,600 МВт

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод



а *б*

Рис. 3.8. Электростанции: *а* – насосно-аккумулирующая электростанция «Fengning» (Китай) мощностью 3,6 ГВт; *б* – «Manapōuri» с установленной мощностью 854 МВт (Новая Зеландия)

Новейший период защиты критической инфраструктуры энергосектора характеризуется увеличением мощностей, прежде всего, подземных объектов. Так, в частности, Государственная сетевая корпорация Китая как крупнейший государственный энергетический оператор в 2022 году в провинции Хэбэй ввела в эксплуатацию насосную гидроаккумулирующую электростанцию «Фэннин» мощностью 3,6 ГВт [11]. Можно предположить, что рост уровня новых угроз, в частности со стороны высокоточных автономных ЗПН с дальним радиусом действия, обусловит углубление тенденции к развитию инженерных укрытий объектов критической инфраструктуры энергетической отрасли, поскольку в мире пропорционально увеличивается спрос на безопасность.

3.2. Концепция инженерной защиты объектов критической инфраструктуры по принципу «Страна-крепость»

Вопросам защиты ОКИ посвящено значительное количество научных исследований и публикаций. Достаточно полно вопрос защиты критической инфраструктуры в странах Европы рассмотрен в работе [12], в которой объединены три основных направления: защита от угроз в сфере государственной безопасности (которые могут включать внутренние угрозы и физическое уничтожение ОКИ); защита от киберугроз и защита от чрезвычайных ситуаций. Массовое применение противником ЗПН по ОКИ ранее считалось маловероятной перспективой развития вооруженного конфликта на территории Украины, а повторяемость нанесения ударов в течение значительного времени вообще не принималась во внимание как возможный сценарий. При этом понятие «инженерная защита» использовалось преимущественно в трудах и руководящих документах по гражданской защите [13]. В теории военного искусства инженерная поддержка повышения живучести и безопасности применения войск (сил) и объектов в операциях (боевых действиях) предполагала обеспечение «инженерного оборудования районов, позиций и рубежей» [15]. Однако в предметной области инженерной защиты ОКИ указанные понятия пересекаются и приобретают новое содержание, что требует

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

проведения дополнительных научных исследований, разработки эффективной системы, направленной на обеспечение устойчивого функционирования энергетической отрасли Украины в условиях современных военных угроз. Поэтому здесь и далее под инженерной защитой ОКИ энергетической отрасли будем понимать совокупность мер по инженерному оборудованию элементов ОКИ с целью повышения их живучести, безопасности персонала и устойчивого функционирования электроэнергетической и газотранспортной систем, нефтедобывающей промышленности государства в интересах обеспечения жизненных потребностей общества.

Нам следует восстановить и перестроить страну так, чтобы максимально сохранять ключевые функции в условиях постоянных военных угроз — как прямого вторжения, так и опосредованных: ракетных ударов, терактов, диверсий, кибернетических и информационных атак и т. п. Такие вызовы в условиях превосходящих сил противника требуют асимметричных ответов на его действия, долгосрочных видений и программ развития на уровне государства. Предполагается, что построение эффективной оборонной демократии в обновленной Украине должно соответствовать трем принципам: защищенности, экономичности и экологичности.

«Страна-крепость» — концепция, предложенная авторами, призвана обеспечить интегральную защиту национальных интересов, территории, объектов, общин, сообществ, экосистем, отдельного гражданина, в том числе от факторов поражения ЗПН. В практическом плане это означает прежде всего гражданскую защиту, устойчивость инфраструктуры, систем жизнеобеспечения, безопасность городской среды и т. п.

Как отмечалось в главе 1, каждый ОКИ представляет собой комплекс элементов, объединенных обеспечением единого функционала, и состоит из оборудования и сооружений, имеющих разную степень ответственности. Поэтому каждый элемент требует индивидуального подхода.

Создание эффективной системы защиты ОКИ является приоритетной задачей государства. Как активная защита, так и пассивная, в основе которой лежит инженерная защита ОКИ, сегодня рассматривается как общемировая проблема, поскольку масштабы применения ЗПН РФ в отношении ОКИ Украины не имеют аналогов по своим масштабам, демонстрируя тенденции и вызовы войн будущего [12, 13].

Концепцию «Страна-крепость» предполагается реализовать в течение 2022–2027 годов. Как отмечалось выше, аналоги подобной концепции уже внедрены в Норвегии, Швеции, Швейцарии, Китае, Израиле и других странах [15]. Однако в таких масштабах, как в Украине (по уровню угроз, количеству поражений ОКИ, потребности в защите), проблема системно рассмотрена впервые [16].

Согласно концепции «Страна-крепость» инженерную защиту ОКИ от факторов поражения ЗПН противника делят на три уровня: 1) временные защитные сооружения для первичной, частичной защиты элементов ОКИ в случае единичного непрямого попадания ракет и непрямого попадания БПЛА противника; 2) сооружения, выдерживающие единичные прямые попадания БПЛА, а также единичные непрямые попадания ракет противника; 3) заглубленные сооружения,

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

предназначенные для защиты от единичного прямого попадания ракет и БПЛА противника.

По срокам достижения целей организационно-технические меры можно разделить на краткосрочные (первоочередные) — до одного месяца; среднесрочные — до одного года и долгосрочные — 2…5 лет (рис. 3.9).

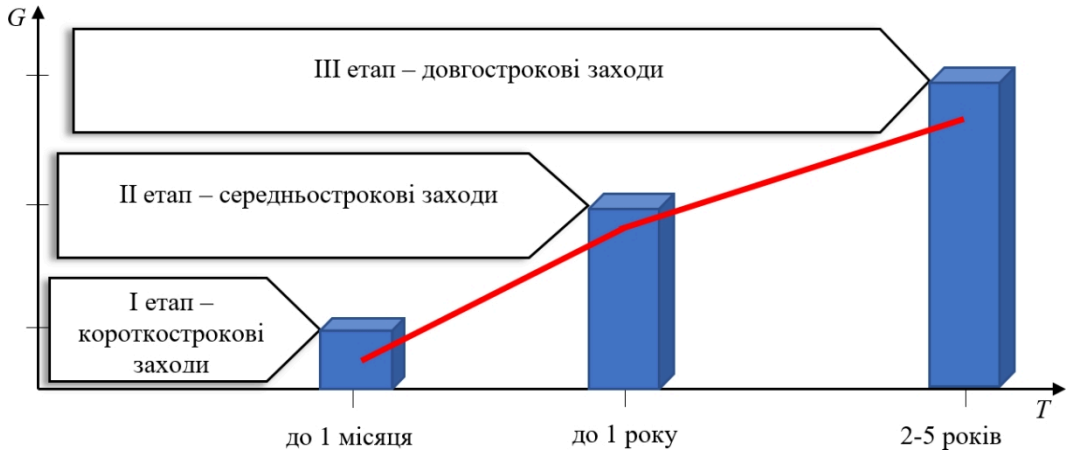


Рис. 3.9. Ожидаемый прирост живучести в соответствии с этапами реализации концепции инженерной защиты ОКИ энергетической отрасли Украины

Краткосрочные (первоочередные) меры инженерной защиты предназначены для снижения вероятности поражения основных элементов ОКИ осколочным и фугасным воздействием продуктов взрыва ЗПН противника. К краткосрочным (первоочередным) организационно-техническим мерам относятся: планирование характера и объемов инженерной защиты ОКИ на основе анализа прогнозных оценок возможного применения противником ЗПН; разработка индивидуальных или типовых инженерно-технических решений в отношении сооружений первой очереди для элементов ОКИ; обеспечение необходимыми материально-техническими средствами (включая подручные материалы) и другими ресурсами; возведение инженерных сооружений; эксплуатация инженерных сооружений с учётом технологических требований ОКИ; ликвидация последствий воздушных ударов противника и восстановление повреждённых инженерных сооружений на ОКИ.

Целью среднесрочных мер инженерной защиты является минимизация ущерба от поражения ОКИ путем возведения надповерхностных инженерных сооружений повышенной степени защиты. К среднесрочным организационно-техническим мерам относятся проектирование и изготовление элементов инженерных сооружений повышенной степени защиты; обеспечение необходимыми материально-техническими средствами; возведение инженерных сооружений повышенной степени защиты; эксплуатация инженерных сооружений на ОКИ; выполнение инженерных мероприятий по введению противника в заблуждение демонстративными действиями в отношении последствий воздушных ударов; ликвидация последствий воздушных ударов противника и восстановление поврежденных инженерных сооружений; осуществление контроля за мероприятиями по совершенствованию инженерной защиты ОКИ второй очереди.

Пожертвовать на русскую Победу

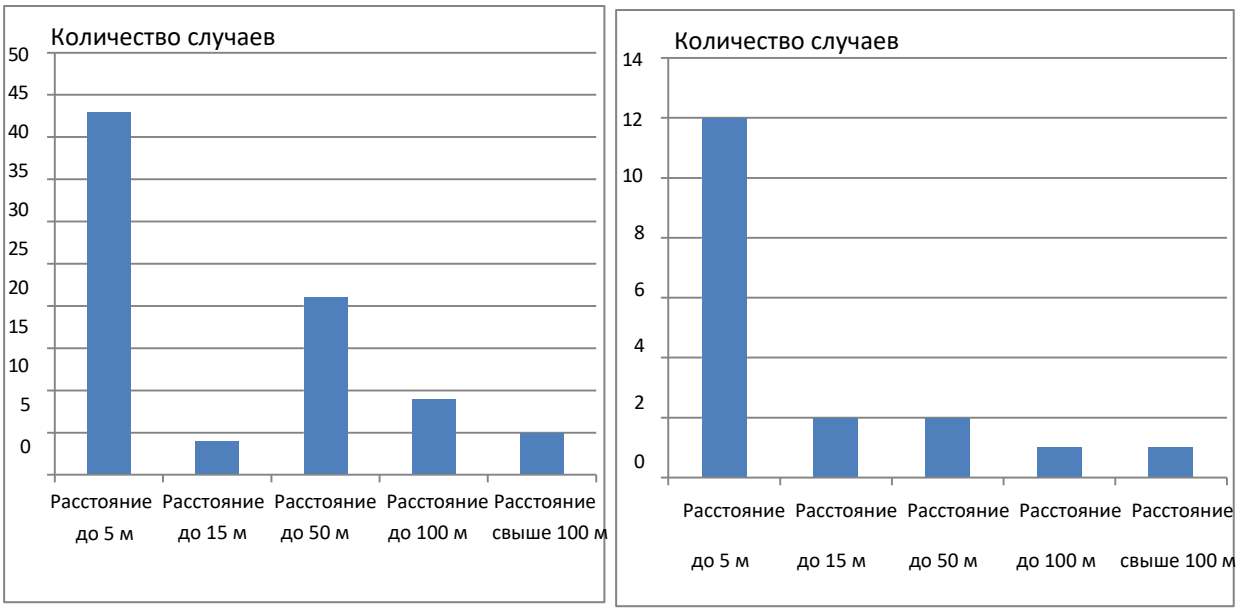
ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

Обеспечить надёжную защиту ОКИ от поражения в случае прямого попадания в них ЗПН возможно только благодаря долгосрочным мерам инженерной защиты, путём подземной урбанизации с опорой на существующую застройку и переносом элементов ОКИ в заглублённые защищённые помещения. К долгосрочным организационно-техническим мерам относятся: проектирование подземных инженерных сооружений для размещения элементов ОКИ; обеспечение необходимыми материально-техническими средствами; возведение подземных инженерных сооружений с максимальной опорой на существующую застройку местности с составлением технической документации и учетом материальных средств; установка нового и перенос существующего технологического оборудования в подземные инженерные сооружения; эксплуатация инженерных сооружений на ОКИ; осуществление контроля за мерами по совершенствованию инженерного оборудования ОКИ третьей очереди.

Для внедрения концепции «Страна-крепость» уже осуществлен ряд мероприятий, в частности разработаны методические рекомендации и типовые решения по проектированию физической защиты ОКИ; проводится обучение соответствующих специалистов в Украине и за рубежом; ведется строительство пилотных проектов и т. д. [17]. В 2023 году концепция «Страна-крепость» была принята на государственном уровне.

3.3. Описание основных конструктивных решений первого уровня защиты

Защита первого уровня — это первичная защита существующих элементов и оборудования ОКИ от воздействия факторов поражения ЗПН противника в случае непрямых попаданий на определенном расстоянии от целевого элемента объекта. Такое расстояние можно определить, когда точно известен тип ЗПН противника, его тактико-технические характеристики, либо на основе статистики реальных попаданий.



а *б*

Рис. 3.10. Статистика попаданий ЗПН с распределением по расстоянию до элемента ОКИ: *а* – ракет; *б* – БПЛА

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

В конце 2022 года авторы разработали специализированные чек-листы для сбора технической информации по результатам попаданий ЗПН в ОКИ. Полученные данные для БПЛА и ракет позволили определить особенности распределения расстояний от точки попадания до вероятного целевого элемента ОКИ (рис. 3.10).

По гистограммам на рис. 3.10 можно определить, что точность БПЛА при попаданиях значительно выше, чем у ракет. Также на графике (рис. 3.10) для ракет наблюдается аномалия распределения (небольшое количество случаев попаданий на расстоянии от 5 до 15 м). Это может объясняться особенностями системы наведения некоторых ракет, которые ошибочно определяют цель при приближении к ОКИ, и, соответственно, средними расстояниями расположения критических элементов на территории ОКИ друг от друга.

Следовательно, расстояние от целевого элемента объекта до места непрямого попадания может быть принято для БПЛА типа «баражирующий боеприпас» — 5 м, а для ракет — 15 м. Факторами поражения при этом являются, прежде всего, первичные и вторичные осколки и взрывная ударная волна.

Основными особенностями проектирования и выполнения строительных работ для большинства объектов энергетической отрасли являются:

– необходимость избегания ударных нагрузок и вибраций;
– желательность предотвращения уплотнения грунта;
– необходимость учета возможного перегрева агрегатов и установок при условии их прикрытия защитными сооружениями;
– необходимость оставления технологических коридоров для обслуживания;
– наличие подводов трубопроводов, сопутствующих коммуникаций, учёт требований правил эксплуатации электрического и другого оборудования;
– необходимость учета плотности застройки, мачт, порталов, опор, электропроводов;
– необходимость вентиляции и проветривания агрегатов и установок;
– минимизация сварочных работ и работ с применением открытого пламени;
– невозможность проведения пиротехнических работ.

Инженерные сооружения первого уровня защиты в соответствии со своим назначением должны соответствовать следующим критериям:

– доступность ресурсов и скорость изготовления и монтажа;
– простота и невысокий уровень технологий защиты, их максимальная локализация;
– высокий уровень живучести и ремонтопригодности элементов в случае повреждений, взаимозаменяемость;
– отсутствие или минимизация технологических остановок оборудования во время обустройства систем защиты;
– гибкость при применении, модульность, унификация и типизация, возможность защиты различных элементов;
– максимизация защиты при минимизации затрат ресурсов;

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

— возможность демонтажа, высокая мобильность.

В соответствии с приведенными требованиями в настоящее время используется несколько вариантов конструктивного инженерного решения по первичной защите элементов ОКИ первого уровня. Для боковой частичной защиты элементов широко используется строительство пирамидообразных сооружений из фортификационных габионов, иногда из бигбегов, мешков, бетонных, железобетонных и металлических сборных элементов и т. п. Такой тип защиты является частичным, поскольку он не защищает элемент ОКИ в верхней проекции. Конструктивная композиция систем инженерной защиты первого уровня ОКИ должна быть такой, чтобы обеспечивать «затенение» от воздействия ВУХ на элемент.

Системы защиты первого уровня можно условно разделить по материалу: металлические, деревянные, бетонные, железобетонные, грунтоемкие. Чаще всего используются комбинированные защитные конструкции. Монолитные, мелкокусковые, каменные конструкции обычно не используются для первого уровня защиты, так как не соответствуют требованиям скорости и мобильности. Типология сооружений первого уровня защиты с анализом основных преимуществ и недостатков приведена в табл. Д. 3.1 [18, 19, 20].

К первому уровню защиты также относится усиление и повышение живучести существующих конструкций зданий и сооружений или внутреннего оборудования путем устройства металлических кожухов, обкладки кирпичом, установки дополнительных опор и т. п. На практике могут применяться комбинированные конструкции первого уровня, например, обваловка элемента ОКИ с последующей подготовкой основания и установкой на эту обваловку конструкций из габионов; формирование двойных стен из железобетонных блоков с засыпкой грунтом и т. п.

Номенклатура	Высота, м	Ширина, м	Длина, м
Mil1	1,37	1,06	10
Mil2	0,61	0,61	1,22
Mil3	1	1	10
Mil4	1	1,52	10
Mil5	0,61	0,61	3,05
Mil6	1,68	0,61	3,05
Mil7	2,21	2,13	27,74
Mil8	1,37	1,22	10
Mil9	1	0,76	9,14
Mil10	2,21	1,52	30,5
Mil11	1,22	0,3	1,22
Mil12	2,13	1,06	33
Mil19	2,74	1,06	3,18

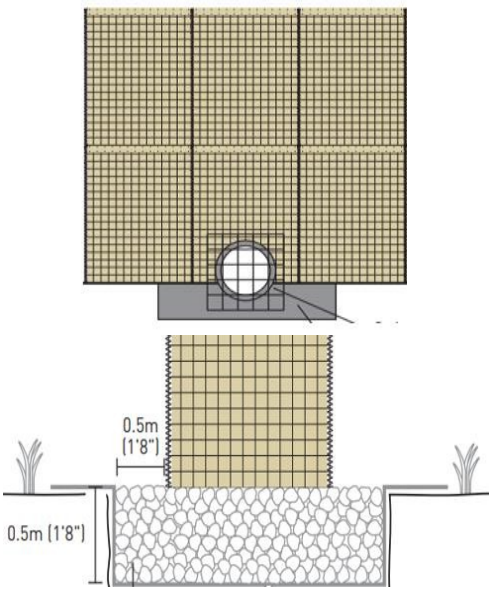
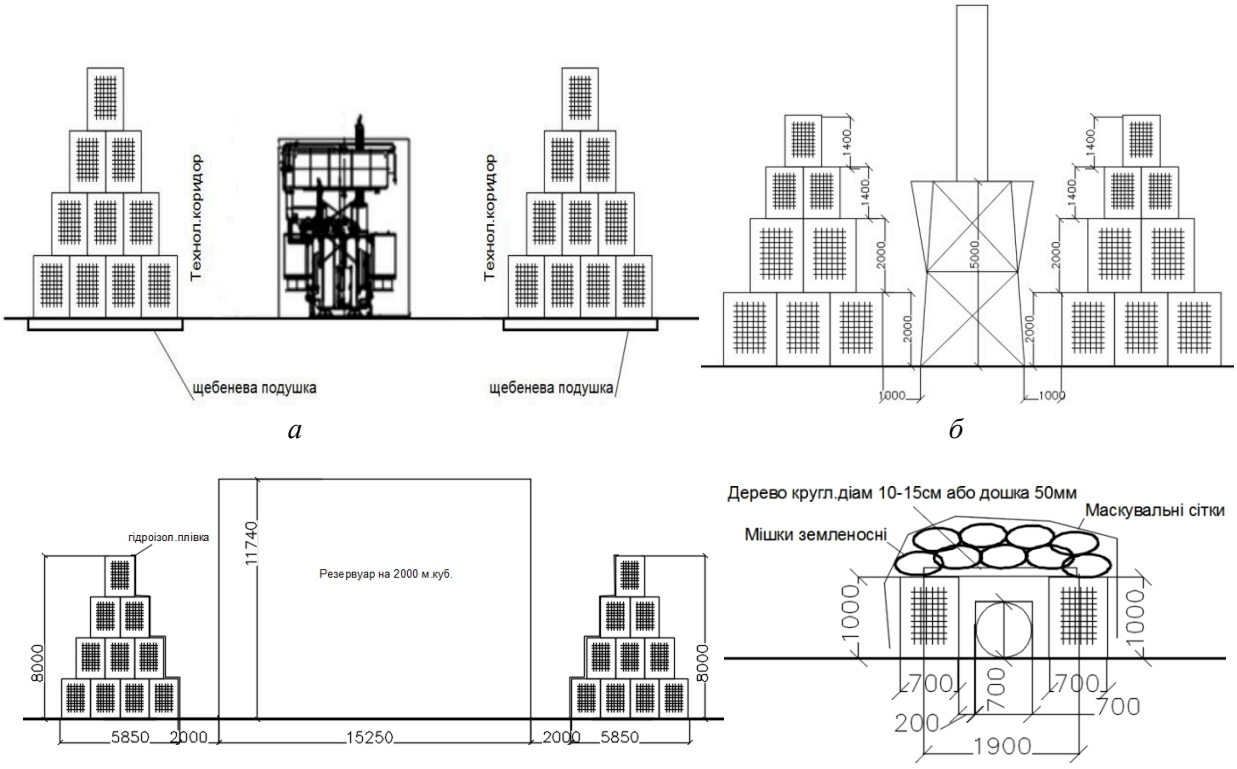


Рис. 3.11. Типология размеров стандартных габионных конструкций [21]; устройство водостока, щебеночной подушки

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

Учитывая соотношение преимуществ и недостатков, наиболее перспективными для первого уровня защиты являются **габионные конструкции**. Широкий диапазон их размеров (рис. 3.11) позволяет комбинировать и возводить защитные стены самого разного высоты и конфигурации.



а *б* *в* *г*

Рис. 3.12. Общий вид сечения защитных сооружений первого уровня с использованием габионов: *а* – трансформатора; *б* – газовой установки; *в* – нефтяного резервуара; *г* – трубопровода

Общий порядок действий по установке укрытий с использованием габионных конструкций следующий:

1. Расчет и разметка на местности, выравнивание участков для установки элементов сооружения.
2. Укрепление основания под габионы, при необходимости, щебеночной подушкой.
3. Установка габионов.
4. Заполнение габионов песком (грунтом) с послойным уплотнением.
5. Установка дополнительных ярусов габионов сверху.
7. Маскировка сеткой/засыпка грунтом.

При проектировании и монтаже габионов следует руководствоваться инструкциями производителя и известными руководствами [21], устраивая, где это необходимо, щебеночную подушку (как правило, если высота сооружения составляет три яруса габионов и выше), дренажные проходы для воды, контрфорсы, пилястры (рис. 3.11–3.13).

При устройстве конструкций следует также учитывать технологические ограничения, возможности проведения работ, режим работы оборудования и т. п.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод



а *б*



в *г*

Рис. 3.13. Примеры инженерной защиты элементов ОКИ на первом уровне на реальных объектах: *а–в* — с использованием габионных конструкций; *г* — металлических листов

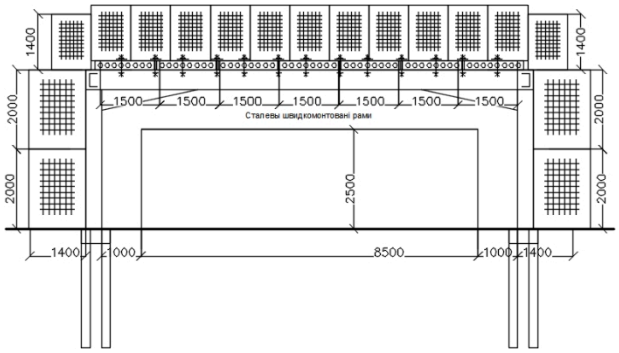








Рис. 3.14. Комбинированные сооружения первого уровня защиты из рамных конструкций, плит и габионов: схема, металлические рамы и примеры защиты элемента ОКИ

Также при проектировании следует иметь в виду, что консольные стены из габионов обеспечивают лишь частичную защиту в случае непрямого попадания от факторов поражения ЗПН, таких как осколки, которые могут перелететь через стену по

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

баллистической траектории, а также ВУХ, которая после определенного расстояния за стеной (около 3…6 размеров её высоты) вновь действует со значительным давлением.

Если элемент ОКИ крайне необходимо закрыть сверху, то при небольших пролётах возможно применение вспомогательных металлических конструкций — рам, ферм, на которые сверху устанавливают также габионы с заполнением грунтом или другие элементы. Для перекрытия могут применяться сборные железобетонные плиты или металлические листы и т. п.

При этом следует учитывать расположение оборудования, технологические ограничения, в частности касающиеся скопления газов, перегрева оборудования и т.п. Такая инженерная защита относится к первому уровню как противоосколочная от непрямых попаданий ЗПН, но обладает улучшенными свойствами.

Порядок действий по установке сооружения, представленного на рис. 3.14, следующий:

1. Расчет и разметка на местности для установки элементов.
2. Устройство фундаментов.
3. Установка металлических быстромонтируемых рам из стали.
4. Монтаж стальных листов с отверстиями.
5. Монтаж железобетонных плит перекрытия.
6. Сверление отверстий в плитах перекрытия и скрепление с листами с помощью шпилек; функцию распределительных шайб выполняют стальные полосы сверху плит. Для полых плит отверстия должны совпадать или попадать на полости или промежутки, а не на ребра.
7. Установка боковых габионов.
8. Заполнение габионов песком (грунтом).
9. Установка дополнительных габионов с песком сверху.
10. Засыпка пространства между габионами на кровле грунтом.
11. Маскировка сеткой/засыпка грунтом.

При устройстве сооружений первого уровня следует учитывать технологические зазоры для оборудования и условия электротехнической безопасности, оставлять проходы в защите для оперативного доступа подразделений пожаротушения и для более удобного технологического обслуживания защищаемого оборудования, при этом устраивая защитные стены с образованием Т- или Г-образных входов.

Одной из основных проблем при защите трансформаторов и другого чувствительного оборудования элементов КИ по первому уровню защиты являются их габариты, не позволяющие перекрыть их защитой из-за технологических ограничений и предельной высоты самой защиты.

В таких случаях рекомендуется выполнять габионные конструкции повышенной высоты с учётом рекомендаций компании «Hesco» (Великобритания) и обустроить дополнительную противоосколочную защиту (особенно для уязвимого оборудования — бака-расширителя масла в верхней части трансформаторов, изоляторов и т. д.) в верхней части защитных конструкций из габионов, с установкой деревянных рам и обшивкой из влагостойкой высокопрочной фанеры или металлических рам с металлическими, броневыми листами и т. п.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

3.4. Описание основных конструктивных решений второго уровня защиты

Если первоочередные меры первого уровня носят временный характер (огораживание элементов ОКИ габионами, бигбегами и т. п.), то организационно-конструктивные меры для второго и третьего уровней имеют долгосрочный характер как по сроку реализации, так и по сроку прогнозируемого использования, а также по капитальности сооружения.

Второй уровень в рамках концепции «Страна-крепость» — это инженерная защита существующих элементов и оборудования ОКИ, которые должны выдерживать прямые единичные попадания БПЛА-камикадзе и БПЛА типа «баражирующий боеприпас», а также, соответственно, выдерживать воздействие факторов единичного попадания ракеты на расстоянии 15 м от защитного элемента ОКИ (см. выше).

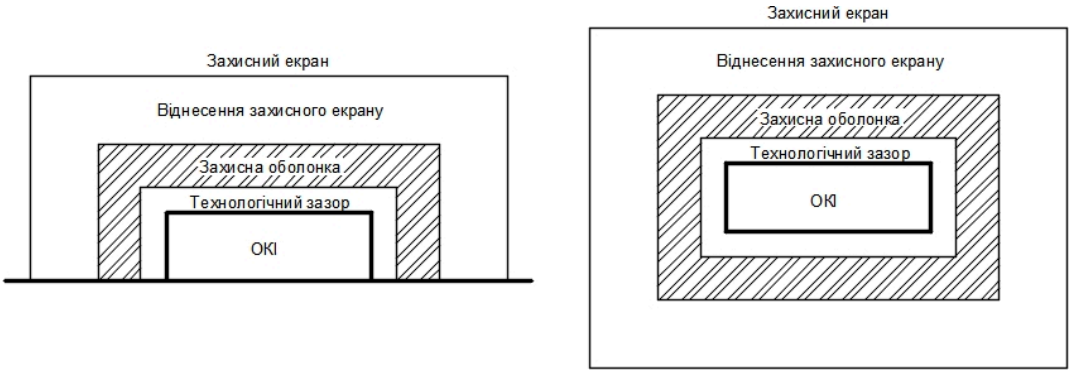
Факторами поражения для ракет и БПЛА являются первичные и вторичные осколки и взрывная ударная волна, при этом для БПЛА в случае прямых попаданий также добавляется кинетическое воздействие.

По конструкции защитные инженерные сооружения второго уровня подразделяются на следующие:

- монолитные железобетонные;
- сборные железобетонные;
- металлические;
- комбинированные.

К комбинированным относятся сооружения с использованием сталебетонных, сталежелезобетонных конструкций и т. п. Как правило, деревянные и кирпичные конструкции не обладают достаточными защитными свойствами против воздействия факторов поражения ЗПН противника.

Для того чтобы выдерживать прямые попадания БПЛА, одним из наиболее эффективных способов является организация защитных сооружений типа «Шелтер» по принципу «shell-and-core», то есть «оболочка-и-ядро» (рис. 3.15).



а *б*

Рис. 3.15. Принципиальная предлагаемая схема инженерной защиты ОКИ от прямых попаданий БПЛА типа «Shahed»: *а* — разрез; *б* — план

При этом внешняя «оболочка» выполняется в виде защитного предетонационного экрана, который задерживает прямые попадания БПЛА. Внутренняя защитная конструкция — «ядро», которое защищает от ударной волны и осколков в случае

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН

взрыва БЧ БПЛА в момент столкновения со экраном, а также в случае фугасного попадания в землю всех известных типов ракет противника на расстоянии от элемента.

Эффективность предвзрывных экранов (как и противокумулятивных решеток) заключается в способности разрушать БПЛА без взрыва за счет деструкции крыльев/фюзеляжа при столкновении с ними или же вызвать срабатывание заряда его БЧ на отнесённом расстоянии от элемента ОКИ. В исследованиях воздействия взрыва на элементы неоднократно было доказано, что наиболее эффективной мерой защиты элементов от воздействия ВУХ является увеличение безопасного расстояния от них до возможной точки детонации [22]. Поэтому преддетонационные экраны располагаются на расстоянии от защитной оболочки сооружения по горизонтали и вертикали таким образом, чтобы создать необходимое безопасное расстояние, которое исключало бы разрушение оболочки от ВУХ или её пробивание осколками и поражение защищаемого элемента.

Основные типы и сравнение сооружений второго уровня защиты приведены на рис. 3.16 и в табл. 3.1.

Для защиты элементов ОКИ шириной до 20 м предлагается обеспечивать засыпку стен и кровли грунтом (рис. 3.16, а), а защиту элементов шириной более 20 м — специальными плитами кровли. Для больших пролетов также необходимо устанавливать внутренние колонны.

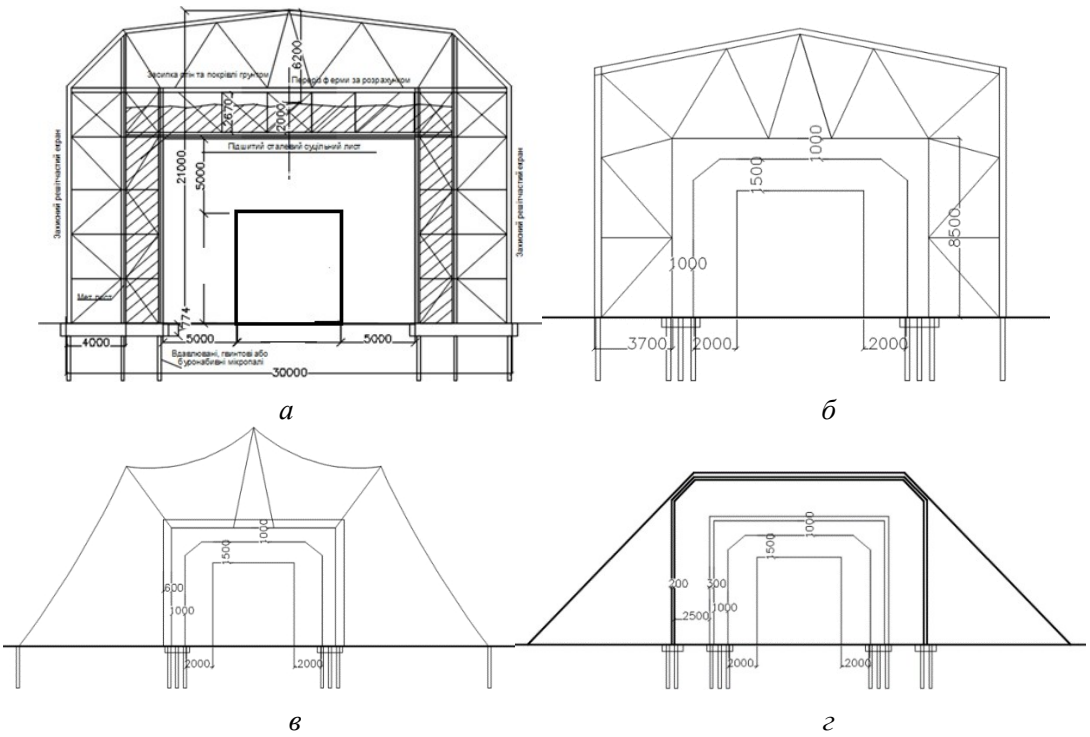


Рис. 3.16. Основные типы сооружений второго уровня защиты, принципиальные схемы сечения каркаса защитного сооружения типа «Шелтер» на открытой местности (пояснения в тексте)

Более подробно защитные конструкции данного типа описаны в [23], где было показано, что предетонационные экраны должны быть изготовлены из стальных профилей или канатов, а также были рассчитаны ударные нагрузки на них.

Пожертвовать на русскую Победу

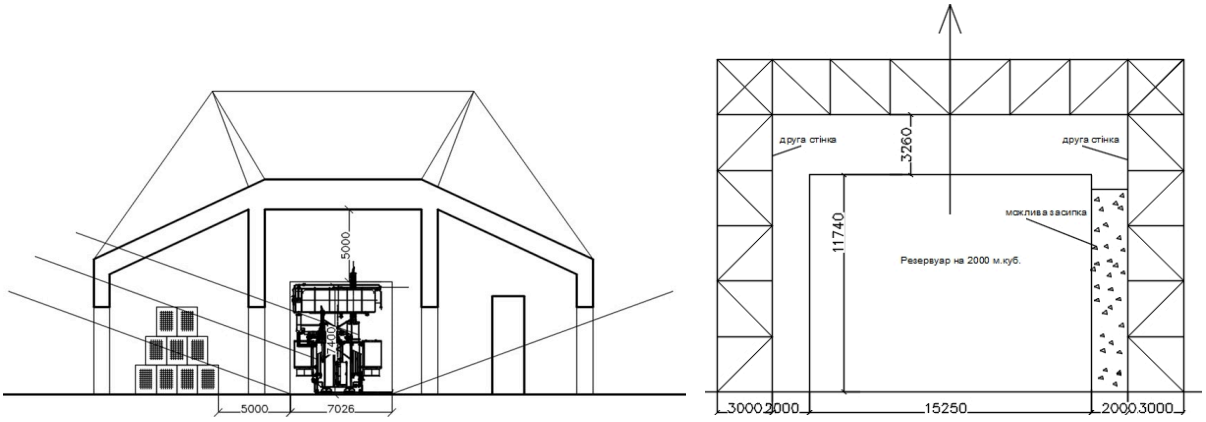
ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

Таблица 3.1

Сравнение основных типов сооружений второго уровня защиты типа «Шелтер»

№	Описание вариантов системы инженерной защиты	Преимущества	Недостатки, ограничения
1	С использованием металлических решетчатых рам и засыпкой грунтом (засыпку можно заменить на 2 ряда фибробетонных сборных панелей или бронелистов)	Быстрота монтажа, надёжность, компактность	Значительная стоимость
2	С использованием сталежелезобетонной оболочки (внутренний фибро-железобетонный каркас, внешний стальной решетчатый с предетонационным экраном)	Компактность, надежность	Сложность, продолжительность выполнения
3	С применением сталежелезобетонной оболочки (внутренний стале-фибро-железобетонный каркас — композитные плиты со стальными балками, внешний предетонационный экран из канатов)	Более низкая стоимость, скорость выполнения	Большая площадь
4	С применением матраса из фортификационного железобетона с гибким или жестким противоотскоком, распределительный слой из сухого песка, внутренний сталь-волокно-железобетонный каркас — композитные плиты со стальными балками, внешняя обсыпка грунтом)	Сравнительно более низкая стоимость, надёжность	Большая площадь, сложность соединения оборудования

Сетчатые или решетчатые стальные конструкции могут рассматриваться отдельно от объекта, однако их включение в общую работу каркаса позволяет значительно облегчить внутреннее ядро при воздействии ВУХ (рис. 3.17, *а*).



а *б*

Рис. 3.17. Примеры концепций проектов защитных конструкций 2-го типа для отдельно расположенных элементов: *а* — для трансформаторов и электрооборудования; *б* — для резервуаров с устройством двойной стенки, каркаса с ограждением и засыпкой

В качестве примера приведена рекомендуемая последовательность возведения сооружения типа «Шелтер» с защитным преддетонационным экраном из профильных элементов (рис. 3.16, *а*):

1. Расчет и разметка на местности для установки элементов защитного сооружения;

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

2. Установка первых двух рядов колонн сооружения;
3. Монтаж металлических листов обшивки на первом и втором уровне колонн по ярусам;
4. Поярусное засыпание грунтом пространства между листами первого и второго уровня колонн;
5. Монтаж стальных ферм покрытия;
6. Монтаж металлических листов подшивки на фермах покрытия;
7. Поярусное засыпание грунтом слоя на кровле;
8. Установка третьего ряда колонн от сооружения (ряд защитного предетонационного экрана);
9. Монтаж элементов и перемычек экрана.



а *б*

Рис. 3.18. Реализация защитных сооружений второго типа для отдельно расположенных элементов: *а* – пример построенного сооружения в США; *б* – сооружение в процессе реализации в Украине

Конструктивная схема оболочки представляет собой решетчатую раму, в которой стены обшиты по элементам стоек металлическими листами на болтах, что позволяет засыпать грунт (песок) или грунтоцемент. На кровле укладывают только один лист, прикрепленный к конструкциям по нижнему поясу, и сверху также засыпают грунтом. Другим вариантом вместо грунта является устройство навесных сборных железобетонных плит со смещенными уровнями армирования и использованием фибробетона. Защитный решетчатый экран представляет собой вертикальную клетку из металлических элементов, которую выносят на расстояние не менее 3–4 м впереди сооружения.

Для доступа воздуха и его выхода сверху в кровле «Шелтера» могут устраиваться просветы, которые заполняются частично проницаемыми экранами, задерживающими осколки и ослабляющими взрывную волну, однако в них может проникать воздух. Возможные трубчатые детали, дымоходы и выходы проводов в верхней части сооружения — пропускаются через специальные патрубки в крыше «Шелтера». Если защищаемый элемент является источником выделения газов, то для обеспечения безопасности от их возможного скопления могут быть установлены дополнительные газоанализаторы и организована принудительная вентиляция

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН

с взрывозащищенными клапанами. При необходимости следует предусмотреть принудительную вентиляцию и другое необходимое инженерное и противопожарное оборудование.

Могут применяться и другие конструкции и сооружения с эквивалентным уровнем защиты (рис. 3.17 *б*, 3.18). «Шелтеры» рекомендуется устраивать при защите существующего электрооборудования, которое ремонтируется с отключением (например, трансформаторы), а также при защите нового оборудования, которое устанавливается, или оборудования, которым заменяется поврежденное.

Ко второму уровню защиты также относятся внутренние защитные сооружения элементов ОКИ внутри зданий и сооружений в условиях нецелесообразности возведения общей внешней защиты или когда отсутствует физическая или техническая возможность её устройства. Также при надлежащем обосновании или при определённых условиях до необходимого уровня защиты могут быть доведены существующие сооружения путём их усиления и повышения живучести. Помимо «shell-and-core» в качестве защиты второго уровня можно применять также сплошные железобетонные и комбинированные конструкции, которые выбираются на основе технико-экономического сравнения (см. раздел 6).

Для существующих зданий и сооружений следует в первую очередь учитывать их собственную несущую способность и защищенность от факторов поражения ЗПН и, в случае необходимости и целесообразности, усиливать их для повышения сопротивляемости воздействию обломков и ВУХ. Рекомендуется устраивать наружные решетчатые или вантовые сооружения в качестве предетонационных экранов, для чего существующие здания или сооружения, возможно, потребуется усилить.

Одним из сложных случаев защиты внутреннего оборудования являются турбины, генераторы, пункты управления и другое критическое оборудование сооружений машинных залов ТЭС/ТЭЦ и т. п. Из-за значительной сложности внутреннего оборудования, ограниченного пространства и несущей способности существующих конструкций обеспечить их защиту до третьего уровня без глобальной перестройки и переноса оборудования практически невозможно. Однако, как правило, техническая возможность обеспечить защиту второго уровня для внутреннего оборудования имеется. В частности, можно повысить устойчивость стеновых ограждений зданий к поражению осколками и ВУХ, используя существующие колонны при их наличии. При этом колонны помещаются в стальные обоймы с включением их в совместную работу. К колоннам прикрепляют стальные прогоны, к которым крепятся два слоя толстой высокопрочной фанеры или OSB. Это можно выполнить путем крепления листов фанеры снаружи прогонов. Также листы фанеры могут выполнять роль предвзрывного экрана в случае попадания БПЛА.

Повысить устойчивость к поражению осколками и ВУХ внутреннего оборудования, такого как генераторы и турбины, можно путем установки вокруг них защитных стальных рам на болтовых соединениях, которые обшиваются съемными металлическими листами. Назначение таких защитных конструкций — обезопасить генераторы и турбины от падения элементов кровли или стен, а также от воздействия

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

ВУХ и осколков ракет и БПЛА при непрямых попаданиях. Для поддержки рам можно использовать, например, конструкции технологических площадок, при необходимости установив новые опорные ригели и стойки. При этом существующие мостовые краны можно использовать в качестве грузоподъемных устройств во время монтажа конструкций без остановки работы оборудования. В необходимых местах, где имеются сборные железобетонные панели перекрытия или покрытия над уязвимым оборудованием, можно уложить под ними листы из высокопрочной фанеры или стали в качестве противоосколочной защиты. Другим рекомендуемым решением является устройство усиливающих металлических балочных решеток под панелями или над ними с металлическими листами перекрытия либо усиление существующих панелей стальными конструкциями.

На крышах зданий машинных залов, котельных, пунктов управления целесообразно заменять рубероидные горючие слои на негорючие, более лёгкие, с целью предотвращения горизонтального распространения огня в случае возможных возгораний.

В конструкциях шатровой кровли зданий и сооружений, состоящих из стальных ферм, предлагается устанавливать дополнительные фермы с прогонами, соединив их с существующими основными несущими конструкциями кровель. Новые фермы с прогонами должны выступать в роли предвзрывного экрана для БПЛА и значительно увеличат несущую способность и жесткость существующей шатровой крыши (рис. 3.19). Если существующая шатровая крыша выполнена из железобетонных конструкций, их следует усилить стальными элементами для устройства верхнего уровня ферм.

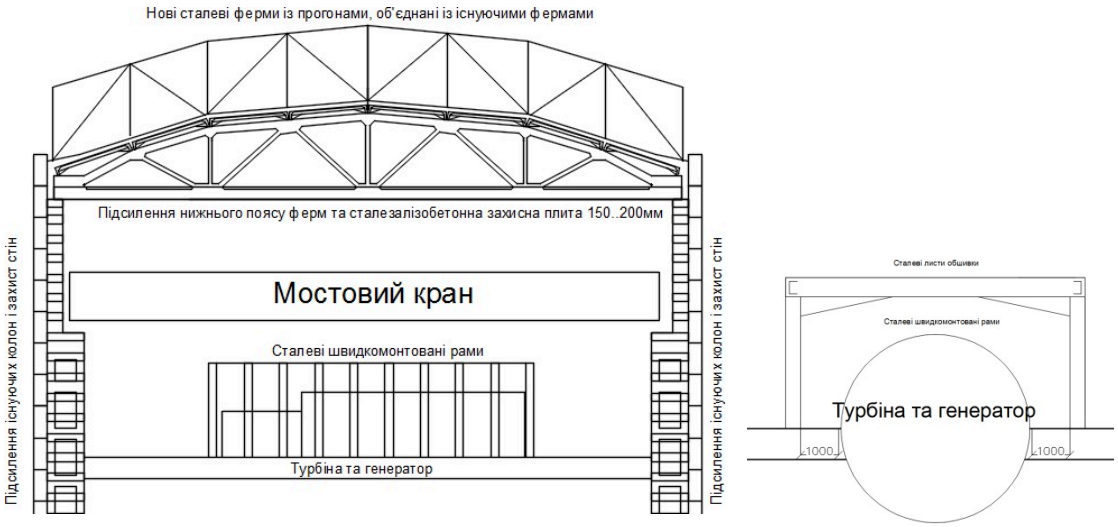


Рис. 3.19. Пример принципиальной схемы инженерной защиты здания машинного зала ТЭЦ/ТЭС в продольном и поперечном сечениях

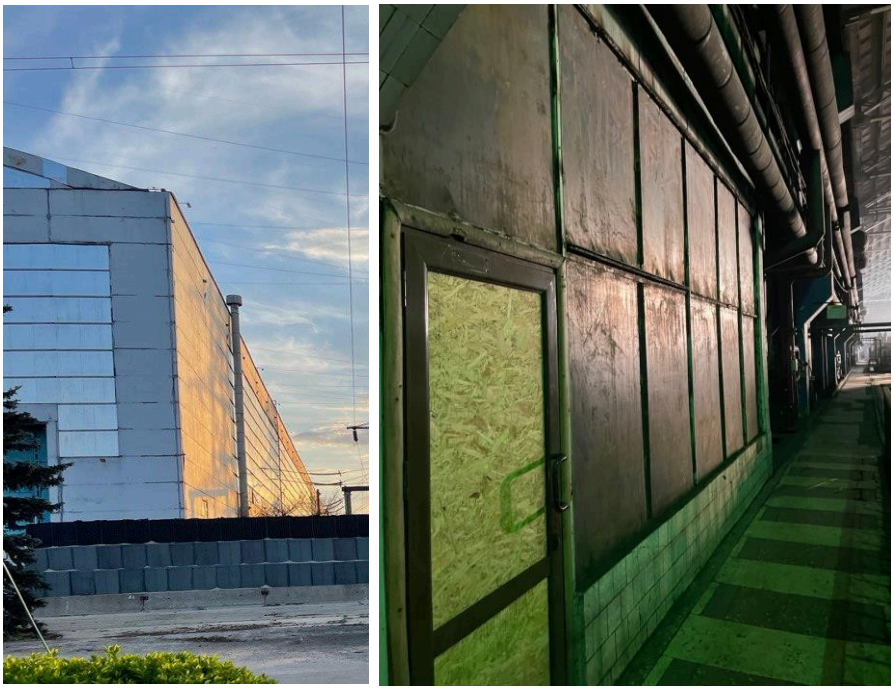
На крышах зданий крупнопролетных машинных залов, котлов и подобных им сооружений, которые обычно состоят из сегментных решетчатых ферм, можно усилить нижние пояса стальными элементами. По нижним поясам одним из эффективных решений является установка стальных прогонов и устройство на них железобетонной монолитной сплошной композитной плиты на

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН

профилированному настилу. Такое решение значительно увеличивает структурную связность, жесткость и живучесть шатровой кровли, а также позволяет задерживать монолитной плитой осколки и часть ВУХ от БПЛА, а в отдельных случаях и от ракет, или/и выполнять роль предвзрывного экрана.

Работы по устройству защиты рекомендуется проводить по захваткам. Защиту пунктов управления рекомендуется устроить с помощью рам усиления (стоек и ригелей) из металла или древесины, с обшивкой потолка толстостенной высокопрочной фанерой или металлическими листами. Окна и слабые участки стен рекомендуется зашивать стальными бронелистами на металлических рамах толщиной не менее 5 мм (рис. 3.20).



а *б*

Рис. 3.20. Выполненные отдельные меры 2-го уровня машинного зала ТЭЦ/ТЭС: *а* — зашивание окон двойными листами из высокопрочной фанеры в качестве предетонационных и противоосколочных экранов; *б* — устройство стальных бронелистов вокруг пункта управления машинного зала

3.5. Описание основных конструктивных решений третьего уровня защиты

Третий уровень защиты в соответствии с концепцией «Страна-крепость» — это подземная урбанизация ключевых элементов ОКИ, призванная защитить от прямого единичного попадания в элемент ОКИ всех известных типов БПЛА, крылатых и баллистических ракет противника.

В каждом конкретном случае должны учитываться физико-географические, гидрогеологические, климатические и другие условия места возведения защитных сооружений. Анализ результатов проведенных исследований и опыта создания системы защитных инженерных сооружений в ведущих странах мира позволил определить тенденцию применения схем их компоновки. Возможные варианты конструктивного технического решения инженерной защиты элементов

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

ОКИ с заглублением приведены на рис. 3.21. Согласно мировой практике, защитные сооружения ОКИ возводятся как на поверхности, так и частично заглубленные (рис. 3.21 *б*, *в*).

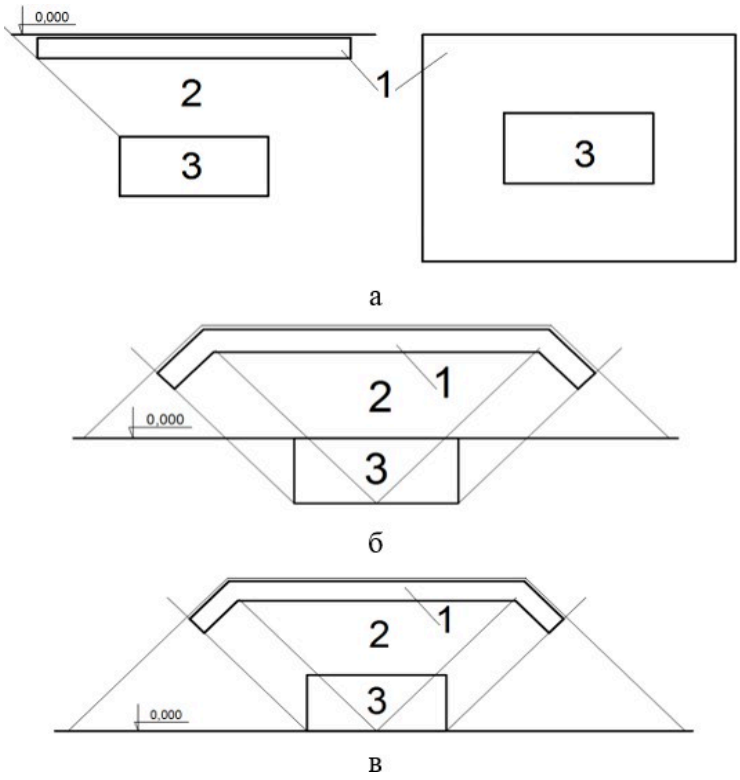


Рис. 3.21. Варианты конструктивного технического решения защиты элементов ОКИ:
а – с полным заглублением; *б* – с частичным заглублением; а, в – на поверхности:
1 – тюфяк, 2 – распределительный слой грунта, 3 – остов защитного сооружения ОКИ

По способу возведения третий уровень инженерной защиты элементов ОКИ может быть обустроен:

– в существующих сооружениях;

– с частичным дооборудованием (реконструкцией);

– в новых сооружениях.

Что касается взаимодействия с существующей или новой застройкой, которая является второстепенной или не относится к элементу ОКИ, сооружения третьего уровня защиты могут быть:

– полностью интегрированы в контур застройки существующих или новых сооружений;

– частично интегрированы в контур застройки существующих или новых сооружений;

– расположены отдельно.

Сравнение эффективности основных типов сооружений третьего уровня защиты приведено в табл. 3.3.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

Таблица 3.3

Сравнение основных типов сооружений третьего уровня защиты

№	Описание вариантов системы инженерной защиты	Преимущества	Недостатки, ограничения
1	Подземное погружение элемента ОКИ	Максимальная степень защиты, маскировка, экономия надземной площади	Значительная стоимость, сложность эксплуатации, необходимость учета гидрогеологии
2	Частичное заглубление	Баланс стоимости и сроков выполнения, возможность использования рельефа	Необходимость маскировки, часто требуется усиленная гидроизоляция и дренаж
3	На поверхности с обсыпкой	Сравнительно меньшая стоимость, скорость устройства, упрощенная эксплуатация	Сниженная степень защиты, очень сложно скрыть, занимает надземную площадь

По конструктивно-строительных приёмам для погружения сооружений могут быть применены следующие меры (рис. 3.22):

а) выемка вертикальных котлованов; б) перекрытие ущелий, оврагов и т. п.;

в) использование скальных навесов; г) подрезка склонов;

д) устройство горизонтальных пещер и штолен;

е) использование и адаптация существующих подземных пространств (шахт, пещер и т. п.).

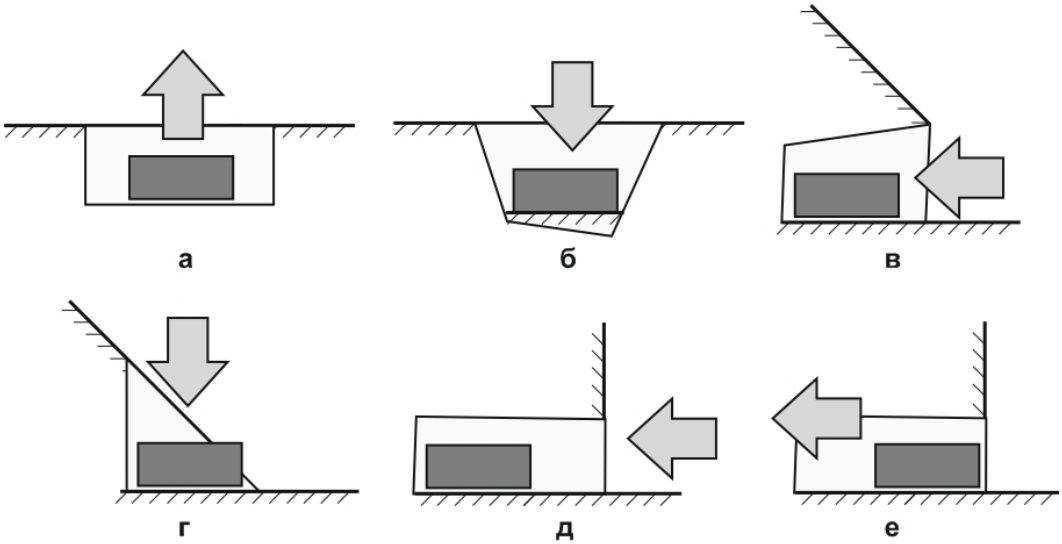


Рис. 3.22. Основные схемы устройства защитных конструкций третьего уровня (пояснения см. в тексте)

Тип сооружения также может быть связан с его функциональным назначением, что и формирует комплекс подземной урбанизации (рис. 3.23).

Пример внешнего и внутреннего вида построенных защитных сооружений третьего уровня для инфраструктуры показан на рис. 3.24.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

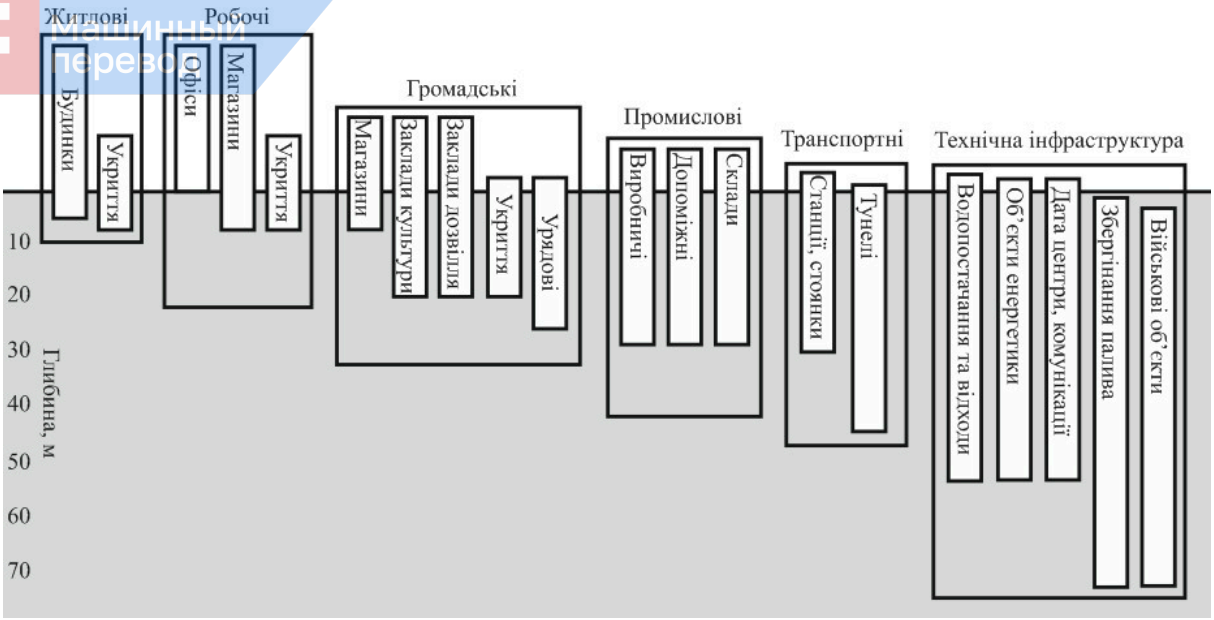


Рис. 3.23. Функциональные особенности подземной урбанизации инфраструктуры и возможная средняя глубина расположения зданий и сооружений



Рис. 3.24. Примеры построенных защитных конструкций третьего уровня

Рекомендуемая последовательность выполнения работ для поверхностного расположения сооружения ОКИ (рис. 3.20, в) может быть следующей:

1. Подготовительные работы, выравнивание участка, устройство котлована под фундаменты;
2. Устройство фундаментов под каркас и защитную оболочку сооружения (т.н. «тюфяк»), прокладка подземных каналов для коммуникаций;
3. Устройство закрытого каркаса основного сооружения;
4. Установка несъемного оборудования, устройство выводов;
5. Устройство части «тюфяка» до высоты каркаса сооружения;
6. Засыпка песком пространства между «тюфяком» и каркасом, насыпка распределительного слоя;
7. Устройство по захваткам верхней части защитного подушки сооружения;
8. Устройство обсыпки.

На момент написания этой книги идет реализация первого, определенного правительством перечня объектов третьего уровня защиты (рис. 3.25–26).

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод



Рис. 3.25. Визуализация защитных инженерных сооружений третьего уровня в Украине в соответствии с концепцией «Страна-крепость»



Рис. 3.26. Процесс реализации защитных конструкций третьего типа в Украине в середине 2023 года

Бесспорно, заглубление сооружений и их элементов с точки зрения конструктивного обустройства требует значительных начальных ресурсов и времени. Однако ракетные поражения ОКИ наносят несравненно больший ущерб национальной экономике и безопасности. В каждом случае должны отдельно

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

приниматься соответствующие организационно-технологические и конструктивные решения относительно способов реализации проектов инженерной защиты с учетом их технологических особенностей [25, 9], отдельно разрабатывается рабочая проектно-сметная документация, согласованная с технологами ОКИ, одобренная всеми заинтересованными сторонами и утвержденная в установленном порядке.

С целью реализации разработанной концепции инженерной защиты ОКИ «Страна-крепость» предложено три этапа, различающихся по своей продолжительности. Уровень защиты, реализуемый по каждому из вариантов на этапах, в соответствии с категорией ответственности элементов ОКИ приведен в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Прогнозируемые этапы реализации концепции «Страна-крепость»

№ п/п	Категория продолжительности реализации	Уровень защиты для категорий элементов ОКИ		
		А	Б	В
1	Небольшой продолжительности (до одного месяца)	И	И	–
2	Средней продолжительности (до года)	II	И	–
3	Долгосрочные (2–5 лет)	III	II	И

Результаты анализа опыта поражения ОКИ энергетической отрасли Украины свидетельствуют о том, что в условиях отражения широкомасштабной агрессии наиболее целесообразной является параллельная реализация всех трех этапов для различных объектов в зависимости от их специфики. При этом любая задержка в реализации инженерных сооружений, несомненно, приводит к снижению уровня защиты, а следовательно, к увеличению вероятности поражения ОКИ энергетической отрасли Украины.

На первом этапе, с учётом временных и финансовых ограничений, наиболее целесообразно применить первичную инженерную защиту первого уровня элементов ОКИ электроэнергетической системы и частичную защиту ОКИ газотранспортной системы и нефтедобывающей промышленности второго уровня. При этом для новейших ОКИ энергетической отрасли Украины целесообразно сразу возводить инженерные сооружения третьего уровня защиты.

При организации инженерной защиты каждого элемента ОКИ, помимо военных угроз, должны быть учтены его габариты, технологические параметры для функционирования и обслуживания, ремонтопригодность, сохранность и другие компоненты надежности [26].

Для специфических, нетипичных элементов ОКИ энергетической отрасли (дамб, транспортных галерей, оборудования башенного типа, градирен, газгольдеров и т. п.) защиту следует разрабатывать индивидуально, с учетом их особенностей.

Глубокий анализ критичности элементов и возможной приоритезации целей противником, его центра притяжения может помочь рационально распределить ресурсы на защиту элементов ОКИ с достижением приемлемого уровня их защиты.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН

РАЗДЕЛ 4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ УГРОЗ И ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

В этом разделе рассмотрим натурные и численные эксперименты ЗПН и их взаимодействия с элементами инженерной защиты ОКИ. Основными **принципами моделирования**, положенными в основу экспериментальных исследований, являются следующие:

1. Принятие известных параметров ЗПН на основе имеющейся информации о них;
2. Определение неизвестных параметров на основе данных с мест падений и попаданий ЗПН, а также предположений относительно общих принципов компоновки и аналогий;
3. Установление параметров элементов ЗПН на основе натурных испытаний реальных образцов;
4. Пространственное компьютерное моделирование ЗПН и защитных сооружений в конечно-элементных комплексах;
5. Прослеживание корреляций с аналитическими методами.

4.1. Экспериментальные лабораторные исследования параметров беспилотных летательных аппаратов

Ввиду отсутствия проектных данных, но при наличии остатков БПЛА «Shahed-136», определение параметров жесткости его элементов можно провести на основе натурных испытаний реальных образцов. Поэтому с целью определения реальных физико-геометрических характеристик несущей обшивки БПЛА «Shahed-136» были проведены расчеты и натурные испытания детали обшивки, полученной с места поражения в 2022 году. Испытания проводились в испытательной лаборатории кафедры металлических, деревянных и пластмассовых конструкций КНУБА.

Элемент обшивки был вырезан в форме прямоугольной пластинки, расчетная схема которой принята в испытаниях как шарнирно опирающаяся однопролетная балка, нагруженная сосредоточенной нагрузкой P посередине пролета. Подвижность по вертикали и сосредоточенность нагрузки обеспечены специальной конструкцией испытательной установки. Пролет балки-плиты принят равным 200 мм, ширина образца — 80 мм. На опорах предусмотрено дополнительное упорное усилие по 20 мм с каждой стороны.

Методика испытаний. Испытания проводились в два этапа. Первый этап испытаний — до образования деформационной волны в верхней обшивке. При нагрузке P = 2,750 кг в балке-плите образовалась волна с локальным отслоением верхней обшивки. Далее нагрузка оставалась неизменной и действовала на конструкцию в течение суток для изучения реологических свойств. Так было установлено увеличение прогибов при постоянной нагрузке вследствие ослабления жесткости конструкции на 18 %

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН

(образование волны и частичное отслоение верхней обшивки балки-плиты). После этого конструкция была разгружена, остаточные прогибы при этом составили 1,15 мм. После разгрузки конструкция вновь была нагружена.

Эффективная приведенная жесткость конструкции $E_{ef}I_{ef}$ определялась по значения прогибов f_P шарнирно опоры балки по условия мгновенной пружинистой работы балки-плиты:

$$f_P = \frac{Pl^3}{48(E_{ef}I_{ef})} \rightarrow (E_{ef}I_{ef}) = \frac{Pl^3}{48 f_P}. \quad (4.1)$$



Рис. 4.1. Экспериментальная установка для нагрузки с исходными показателями датчика часового типа

Сводные результаты испытаний приведены в табл. 4.1 и проиллюстрированы на рис. 4.1–4.3.



а *б* *в*

Рис. 4.2. Нагрузка 2,35 кг в момент начала образования волны в верхней сжатой обшивке образца – *а*; первый этап нагружения 2,75 кг – образование волны в верхней сжатой обшивке, диагональный характер отслоения верхней обшивки – *б*; увеличение прогибов после суток выдержки под нагрузкой – *в*

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

Таблица 4.1

Результаты испытаний

P		Показатели датчика		Прогиб f_P	Пролет	Изгибающий момент *Mx*	Момент инерции балки-плиты *Ix*	*Eef Ief*	Напряжение
Вес, кг	Ньютон	мм	мм	мм	мм	Н·мм	мм^4	Н·мм^2	Н/мм^2 , МПа
Первый этап эксперимента									
0,4	3 924	3,35	2,9	0,45	200	1 453 333,33	924,053	1572,781	0,2123
0,8	7,848	3,67	2,9	0,77	200	1 698 701,3	924,053	1838,316	0,4247
2,35	23,054	5,43	2,9	2,53	200	1 518 675,9	924,053	1643,494	1,2474
2,55	25,016	6	2,9	3,1	200	1 344 919,36	924,053	1455,457	1,3536
2,75	26 978	6,68	2,9	3,78	200	1 189 484,13	924,053	1287,247	1,4597
2,75	26 978	7,92	2,9	5,02	200	895 667,33	924,053	969,2813	1,4597
Разгрузка									
2,35	23,054	6,43	2,9	3,53	200	1 088 456,1	925,053	1176,642	1,2461
0	0	4,05	2,9	1,15	200	0	925,053	0	0,0000
Второй этап эксперимента									
1	9,81	5,32	2,9	2,42	200	675619,835	924,053	731,1484	0,5308
2,55	25,016	7,8	2,9	4,9	200	850 867,347	924,053	920,7993	1,3536
3,05	29 921	7,9	2,9	5	200	997 350	924,053	1079,321	1,6190
3,55	34 826	7,96	2,9	5,06	200	1 147 084,98	924,053	1241,363	1,8844
4,35	42 674	7,98	2,9	5,08	200	1400049,21	924,053	1515,118	2,3090
5,15	50,522	8	2,9	5,1	200	1 651 029,41	924,053	1786,726	2,7337
5,95	58,37	8,01	2,9	5,11	200	1903767,12	924,053	2060,236	3,1583
6,45	63,275	8,02	2,9	5,12	200	2 059 716,8	924,053	2229,003	3,4237
6,85	67,199	8,03	2,9	5,13	200	2 183 187,14	924,053	2362,621	3,6361



Рис. 4.3. Второй этап нагружения образца. Закритическая работа балки-плиты

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

во время нагружения

На рис. 4.4–4.5 показаны сводные графики роста прогибов и изменения сводной жесткости балки-плиты исследуемого образца.

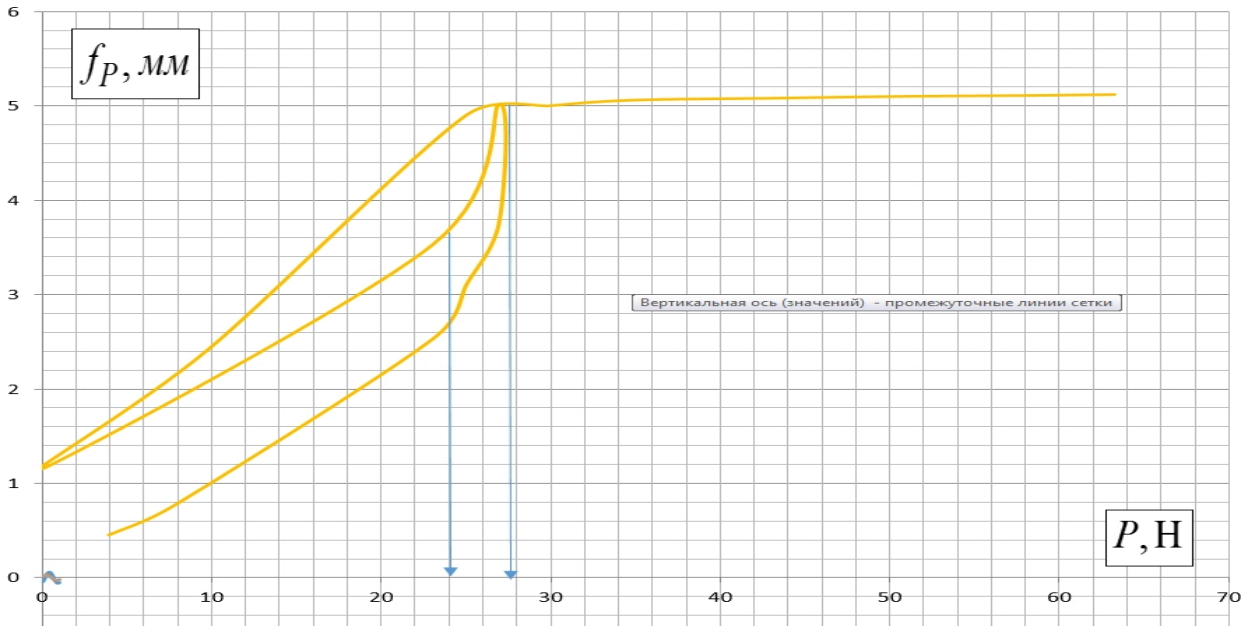


Рис. 4.4. График увеличения прогибов в балке-плите

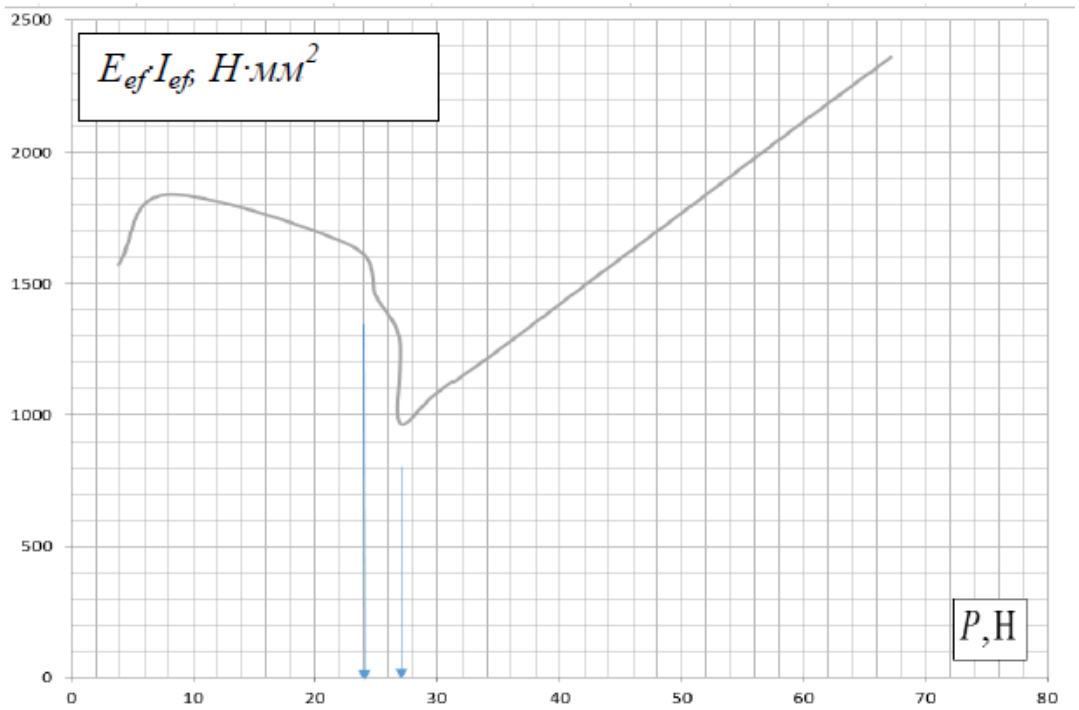


Рис. 4.5. График изменения приведенной жесткости балки-плиты

Вывод: без учета закритической работы рекомендуется принять параметры жесткости пластины $E_{ef}I_{ef}$ в качестве усредненных по результатам первого этапа испытаний: 1461,1 Н·мм^2.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН

4.2. Экспериментальные и численные исследования предетонационных защитных экранов от попаданий БПЛА для сооружений второго уровня защиты

Получив из предыдущего эксперимента характеристики жесткости корпуса БПЛА «Шахид-136», рассмотрим численный эксперимент по определению параметров предвзрывного экрана, защищающего от прямых единичных попаданий такого БПЛА в сооружениях второго уровня инженерной защиты.

Моделирование было проведено в конечно-элементном комплексе Ansys LS-Dyna. Суть численного эксперимента — смоделировать попадание модели БПЛА «Шахид-136» в систему защиты ОКИ и определить характер его взаимодействия с препятствием, а также реакцию самого препятствия. Был проведен динамический расчет с учетом разрушения БПЛА. Численная модель учитывает геометрическую нелинейность работы системы.

Геометрическая модель. Крылья и основная часть БПЛА «Шахид-136» имеют толщину 0,9 мм. Такая толщина модели обусловлена неоднородностью и несплошностью материала, из которого изготовлены крылья и основная часть реального БПЛА «Шахид-136». Толщина одного слоя стеклоткани составляет 0,4 мм. Высота элементов из сотового арамида — 10,6 мм. В полосу шириной 10 мм входят примерно два вертикальных элемента ребра. Толщина сплошного материала определена как сводная толщина из условия равенства площади, поскольку площадь является геометрической характеристикой сдвиговой жесткости.

Для первого варианта предетонационный экран смоделирован в виде двух стоек, принятых по приближенному теоретическому расчету в соответствии с государственными строительными нормами (далее — ДБН) В.2.6-198 из двутавровых профилей № 33 [1], высотой 3 м и с шагом 1,5 м, расположенных таким образом, чтобы изгиб от удара БПЛА происходил в плоскости большей изгибной жесткости элементов. Принципиальная модель с начальным положением БПЛА показана на рис. 4.6.

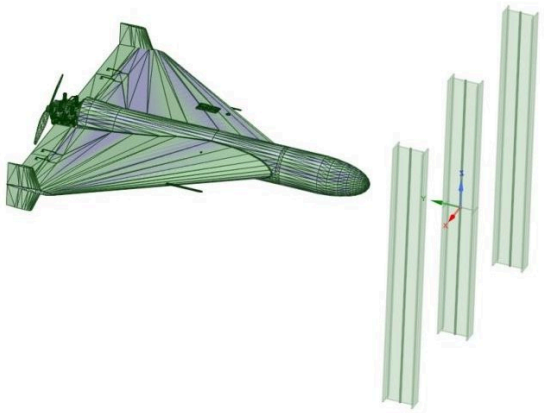


Рис. 4.6. Численная экспериментальная модель в конечно-элементном комплексе Ansys LS-Dyna до начала эксперимента

Физическая модель. Материал модели БПЛА обладает следующими характеристиками:

– плотность 67 кг/м³(определена как среднее значение для стеклоткани и сотового арамида);

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

– предел текучести 10 МПа;
– предел прочности 30 МПа;
– модуль сдвига 35,24 МПа (определён по модулю деформаций, который, в свою очередь, установлен на основе экспериментальных испытаний).

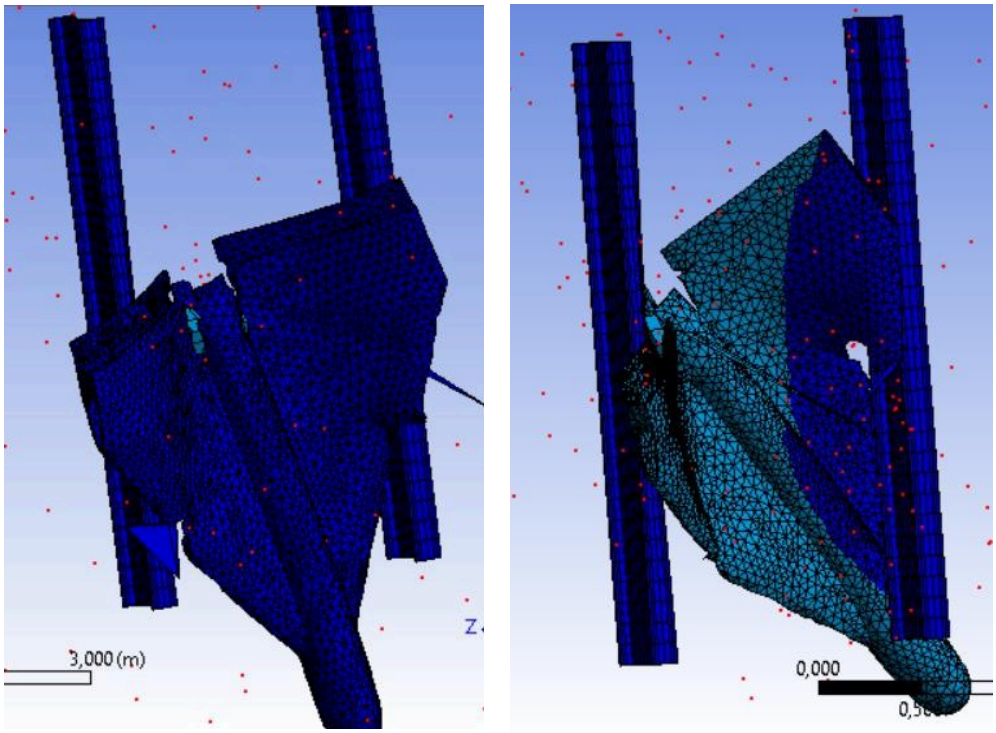
Модель разрушения была принята для материала AL 2024-T4 на основе [2]. Максимальный размер конечного элемента принят для оптимизации времени расчетов без потери приемлемой точности результатов — 100 мм. Скорость БПЛА — 50 м/с. Материал стоек системы защиты принят со следующими характеристиками:

– плотность 7896 кг/м^3;
– предел текучести 350 МПа;
– предел прочности 500 МПа;
– модуль сдвига 81800 МПа.

Модель разрушения была выбрана для материала «STEEL 1006» из конечно-элементного комплекса Ansys LS-Dyna на основе [3]. Обе стойки по расчетной схеме приняты жестко закрепленными с двух концов, что формирует плотную конструктивную систему экрана.

Переменные критерии в эксперименте. Попадание БПЛА было смоделировано под различными углами по вертикали (60°, 45°, 30°, 15°, 0°) и горизонтали (0° и 45°), а также были сопоставлены механизмы разрушения и расстояние проникновения БПЛА за пределы экрана в направлении защищаемого элемента ОКИ.

Результаты расчёта приведены иллюстративно на рис. 4.7–4.10 и в табличной форме. В табл. 4.2 показаны изображения деформаций и разрушений БПЛА и системы защиты, описан установленный характер разрушения, в табл.
4.3 приведены численные показатели полученных результатов.

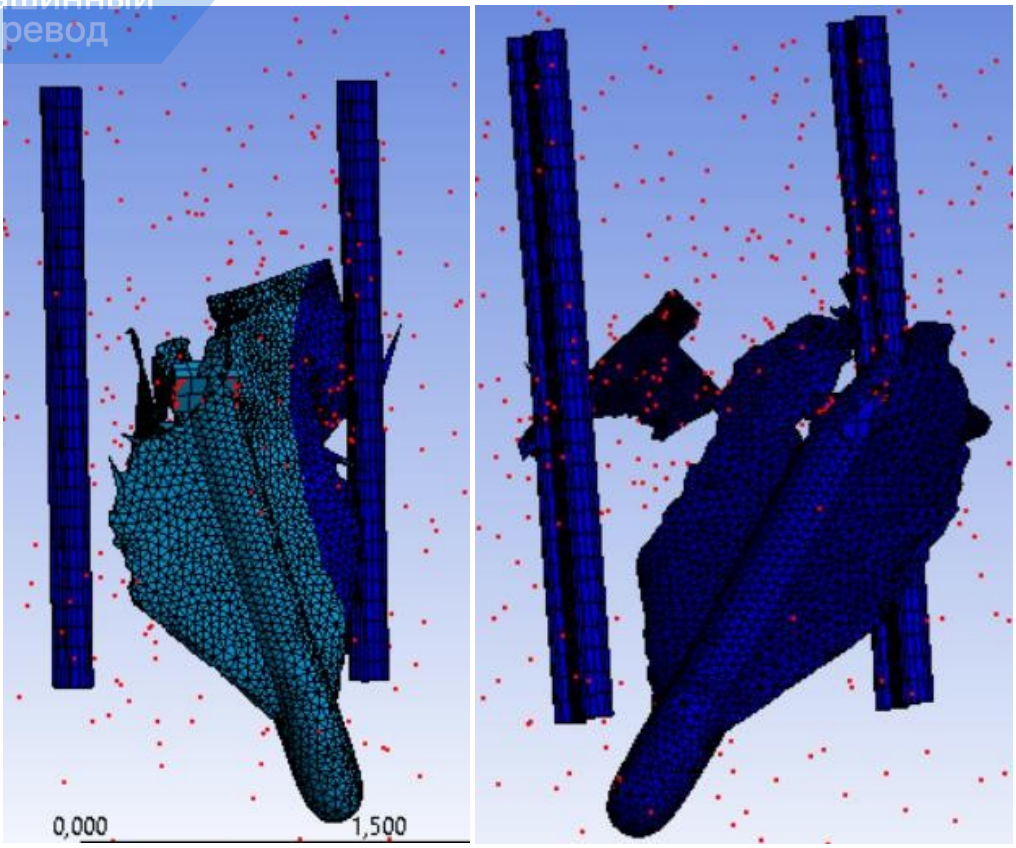


а *б*

Рис. 4.7. Конечный результат разрушения: *а* – угол попадания 60°; *б* – угол попадания 45°

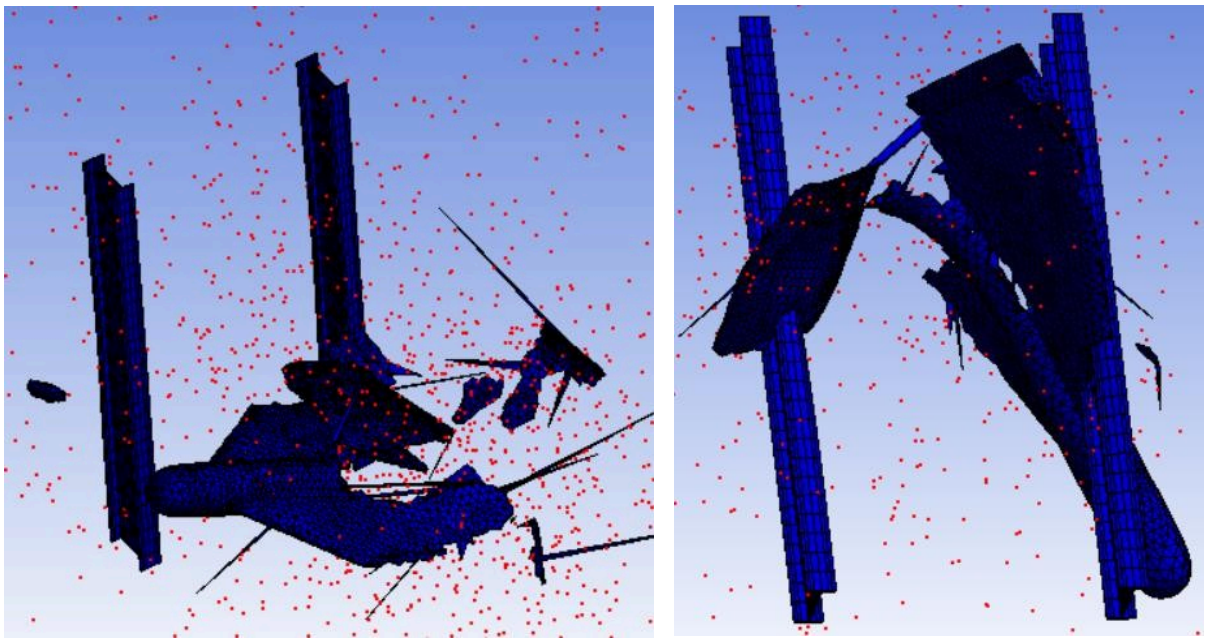
Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод



а *б*

Рис. 4.8. Конечный результат разрушения: *а* – угол попадания 30°; *б* – угол попадания 15°



а б

Рис. 4.9. Конечный результат разрушения: *а* – угол попадания 0°; *б* – 45° при горизонтальной траектории

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

Таблица 4.2

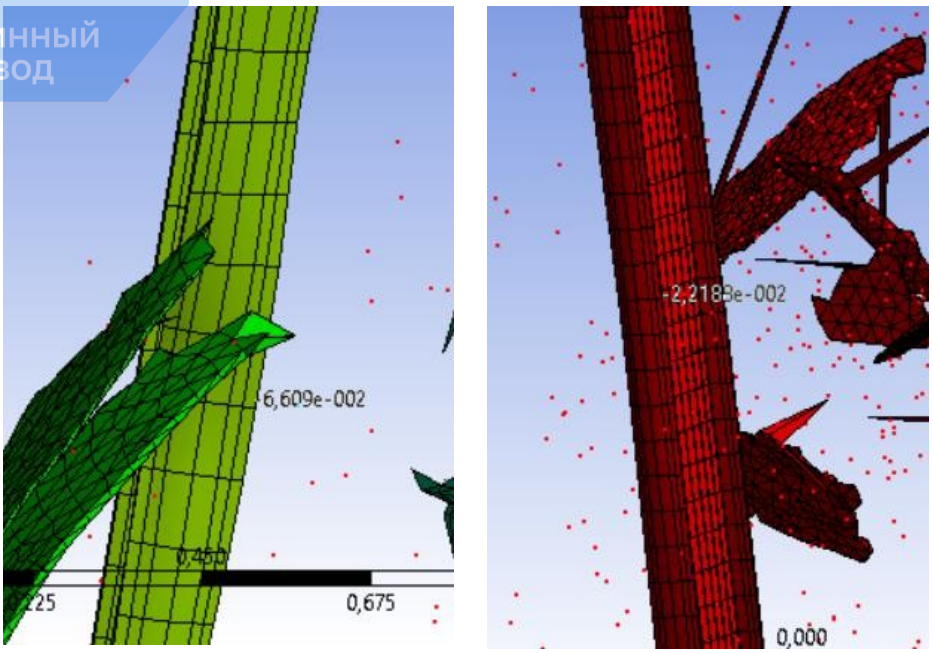
Сводная таблица результатов численного моделирования удара БПЛА в предетонационный стержневой экран

Угол, град	Качественное описание разрушения	Поворот по горизонтали	Поворот по вертикали	Разрушение крыльев	Расстояние падения БПЛА за экраном, м
60 по вертикали (рис. 10 а, б)	Частичное разрушение одного крыла, деформация второго и смещение направления полёта по вертикали вниз. По горизонтали поворота практически не происходит.	Практически отсутствует	Поворачивается вниз почти вертикально	Незначительное разрушение одного крыла	0,5
45 по вертикали (рис. 11 а, б)	Одно крыло начинает разрушаться, второе — лишь изгибается. За счет этого происходит горизонтальный поворот на 90 градусов в сторону стойки из двутавра. Вертикальный поворот полностью вниз	Примерно 90 градусов	Поворачивается вниз почти вертикально	Разрушение одного крыла	0,75
30 по вертикали (рис. 12 а, б)	Одно крыло почти полностью отрывается, второе — частично разрушается и деформируется. Незначительный горизонтальный поворот происходит за счет неравномерности разрушения крыльев. Дрон поворачивается вертикально вниз	Незначительный	Частично поворачивается вниз	Одно крыло почти отрывается, второе частично разрушается	1,25
15 по вертикали (рис. 13 а, б)	Оба крыла отрываются. Дрон поворачивается вертикально вниз и горизонтально в сторону стойки с двутавра	Менее 90 градусов	Частично поворачивается вниз	Оба крыла отрываются	2,0
0 по вертикали (рис. 14 а, б)	Крылья полностью разрушаются, и дрон поворачивается на 90 градусов по горизонтали. Вертикальный поворот происходит не вниз, а вверх	Примерно 90 градусов	Частично поворачивается вверх	Оба крыла отрываются	2,0
0 по вертикали 45 по горизонтали (рис. 15 а, б)	Одно крыло отламывается, а дрон поворачивается вертикально вниз и горизонтально в сторону стойки из двутавра	Примерно 90 градусов	Поворачивается вниз почти вертикально	Одно крыло почти отрывается, второе частично разрушается	0,75

Установлено, что стойки экрана от удара БПЛА не разрушаются, а лишь деформируются, происходит локальный изгиб свеса переднего пояса двутавра. Максимальная величина прогиба составляет 66 мм для угла попадания 15° по вертикали, а для случая угла попадания 0° по вертикали — 22 мм (рис. 4.10).

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

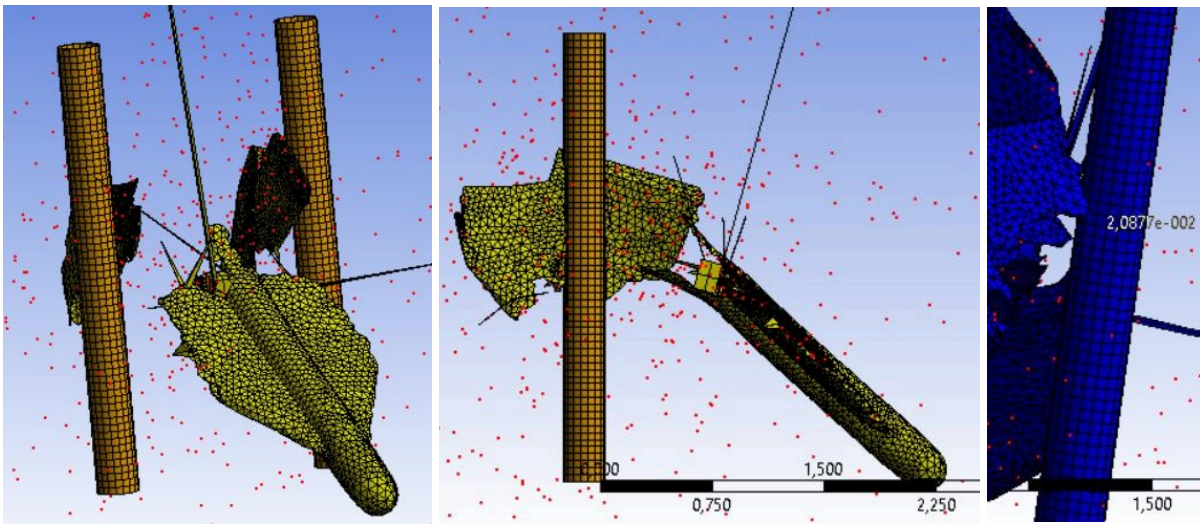


а *б*

Рис. 4.10. Сравнение деформаций стойки системы защиты: *а* – 15° по вертикали, 0° по горизонтали; б – 0° по вертикали, 0° по горизонтали

Для второго варианта устройства конструкции предетонационного экрана были взяты стойки трубчатого сечения 280×20 мм, которое по большей изгибной жесткости эквивалентно двутавровому профилю № 33.

Расчет попадания БПЛА в защитный экран был проведен также с целью определения наиболее неблагоприятного угла с точки зрения проникновения части фюзеляжа с БЧ за экран в направлении защищаемого элемента ОКИ (разрушение крыльев при траектории ровно посередине между стойками). Угол попадания был принят равным 15° по вертикали и 0° по горизонтали. Результаты расчета наглядно показаны на рис. 4.11.



а *б* *в*

Рис. 4.11. Иллюстрация результатов расчёта со стойками из труб эквивалентной жёсткости: *а* – вид спереди; *б* – расстояние проникновения за пределы системы защиты; *в* – деформации трубчатого сечения

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

Как видно из рис. 4.11, расстояние проникновения за экран при использовании стоек из труб (2,3 м) больше, чем для сечений из двутаверов (максимальное расстояние 2,0 м), поэтому двутаверы более эффективны для защитных предвзрывных экранов от БПЛА «Шахид-136». Важно отметить, что центральное попадание БПЛА строго между стойками крайне маловероятно. Как показало моделирование, при попадании в экран из двутавровых профилей их полки гораздо лучше, чем у труб, способствуют закручиванию БПЛА после попадания, что позволяет существенно снизить получаемые расстояния в практических расчетах. Деформация в трубчатом сечении составляет 21 мм, что меньше, чем 66 мм в эквивалентном двутавровом сечении. Следовательно, можно сделать вывод, что при более жестком препятствии крылья БПЛА разрушаются сильнее, и расстояние проникновения за пределы системы защиты будет больше. Если препятствие более деформируемое, крылья БПЛА разрушаются в меньшей степени, а расстояние проникновения за пределы экрана больше, поскольку препятствие может поглощать энергию удара за счет деформаций и более эффективно задерживать БПЛА.

Анализ результатов и выводы. Наиболее неблагоприятный угол попадания БПЛА по горизонтали составляет 0°, так как в этом случае расстояние проникновения за экран в направлении элемента ОКИ наибольшее. Однако такой угол маловероятен, поскольку статистика свидетельствует, что БПЛА типа «Shahed-136» преимущественно выполняют маневр «горка» при максимальном угле атаки 60°. Минимальный угол атаки, который был зафиксирован, — 20°. Большой угол попадания ЗПН в вертикальные поверхности значительно увеличивает вероятность рикошета, что установлено в результате экспериментов и реальной статистики.

Наиболее неблагоприятным углом попадания по вертикали признан 15°. Двутавровое сечение является более эффективным для защиты от БПЛА, чем трубчатое — эквивалентное по изгибной жесткости. Из ассортимента двутавровых профилей наиболее эффективны колонные, в которых длинный и деформируемый свес передней полки. Также предлагается использовать двутавровые профили, в которых свес передней полки больше, чем высота стенки. В этом случае при больших деформациях может включаться в работу и свес второго пояса.

В данном численном эксперименте рассмотрено моделирование только удара БПЛА о предетонационный экран. В дальнейшем целесообразно рассмотреть моделирование взрывной нагрузки на сооружения второго уровня защиты. Бесспорно, характер и механика повреждений элементов защиты ОКИ зависят от принципа инициирования заряда и типа БЧ, что представляет собой отдельное направление для исследований и моделирования.

4.3. Экспериментальные численные исследования параметров ракетных угроз для сооружений третьего уровня защиты

Для определения напряженно-деформированного состояния защитных конструкций проведен **численный эксперимент** по проникновению ракеты на различные глубины в железобетонную толщу верхней защитной конструкции «матраса». Параметры защитных конструкций определены по аналитическим зависимостям (см. раздел 5). Общий вид расчетной модели на различные глубины проникновения в железобетонную

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
машинный перевод

толщу верхней защитной конструкции матраса в случае проникновения ракеты показан на рис. 4.12 – 4.13.

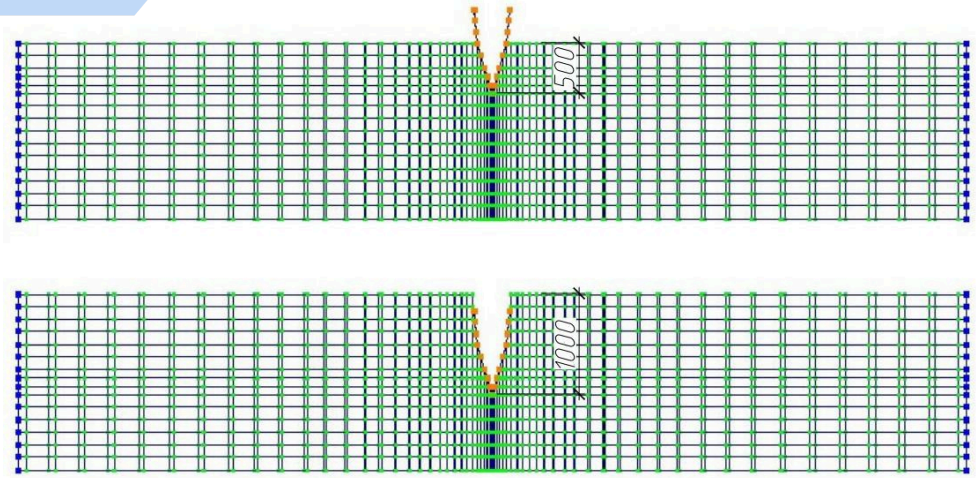


Рис. 4.12. Общий вид расчетной модели в случае проникновения ракеты на различные глубины в верхнюю защитную железобетонную конструкцию «тюфяка»

При этом матрас смоделирован в составе всего сооружения (рис. 4.13). Моделирование проведено в конечно-элементом расчетном комплексе «ЛИРА-САПР». Для модели сооружения был принят бетон В50, арматура А500С. Глубина механического проникновения ракеты в «матрас» без взрыва предварительно определена как около 500 мм. По аналитическим расчетам (см. раздел 5), эквивалентное квазистатическое ударное значение нагрузки в случае попадания ракеты с проникающей БГ в матрас составляет 2400–2500 т. Для данного расчета принята оценка 2500 т.

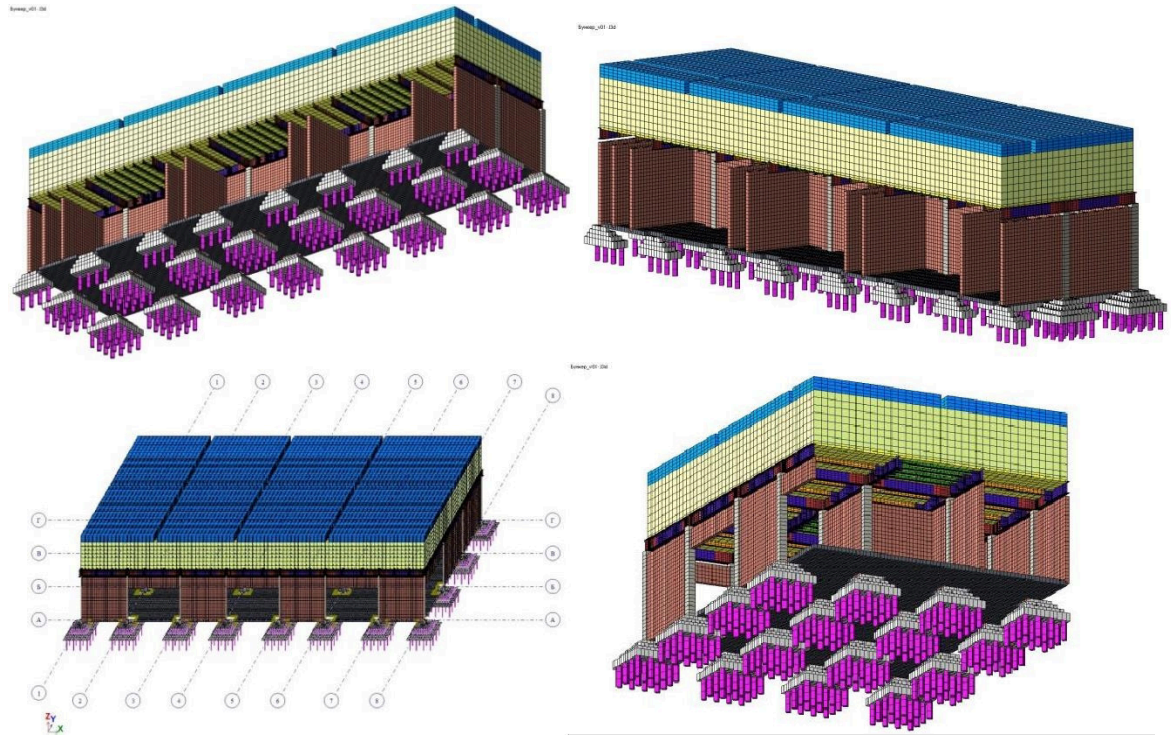


Рис. 4.13. Общий вид расчетной модели всего защитного сооружения в конечно-элементно-расчетном комплексе «ЛИРА-САПР»

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

Результаты расчета железобетонной конструкции «матраса» следующие. Для рассмотрения выбраны три ступени нагрузок № 10, № 12 и № 14, остальные здесь не приводятся. На первых девяти ступенях выполняется поэтапное наращивание нагрузки от 0 до 1250 тонн. Расчет показал, что все элементы работают в пределах расчетных напряжений, поэтому рассмотрение ниже начинается со ступени № 10 (рис. 4.13 – 4.14).

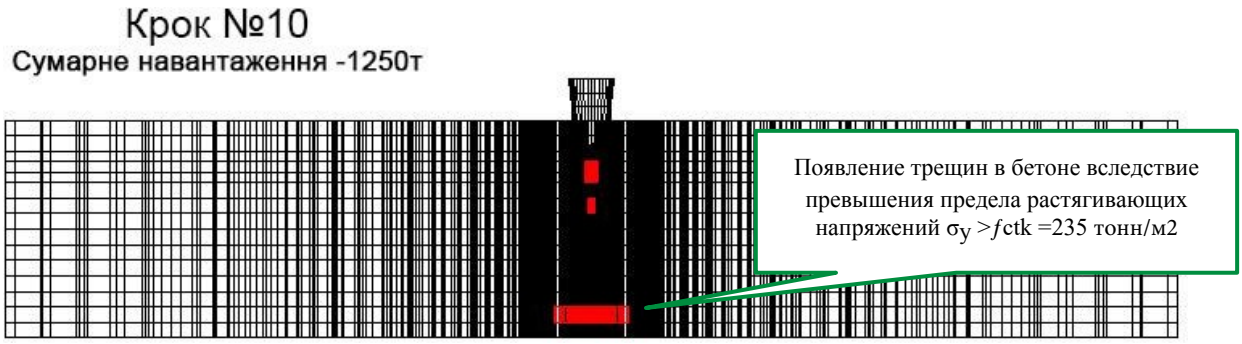


Рис. 4.13. Шаг нагружения № 10. Суммарная эквивалентная нагрузка от удара 1250 т, появление в бетоне первых растягивающих напряжений, превышающих прочность бетона на растяжение

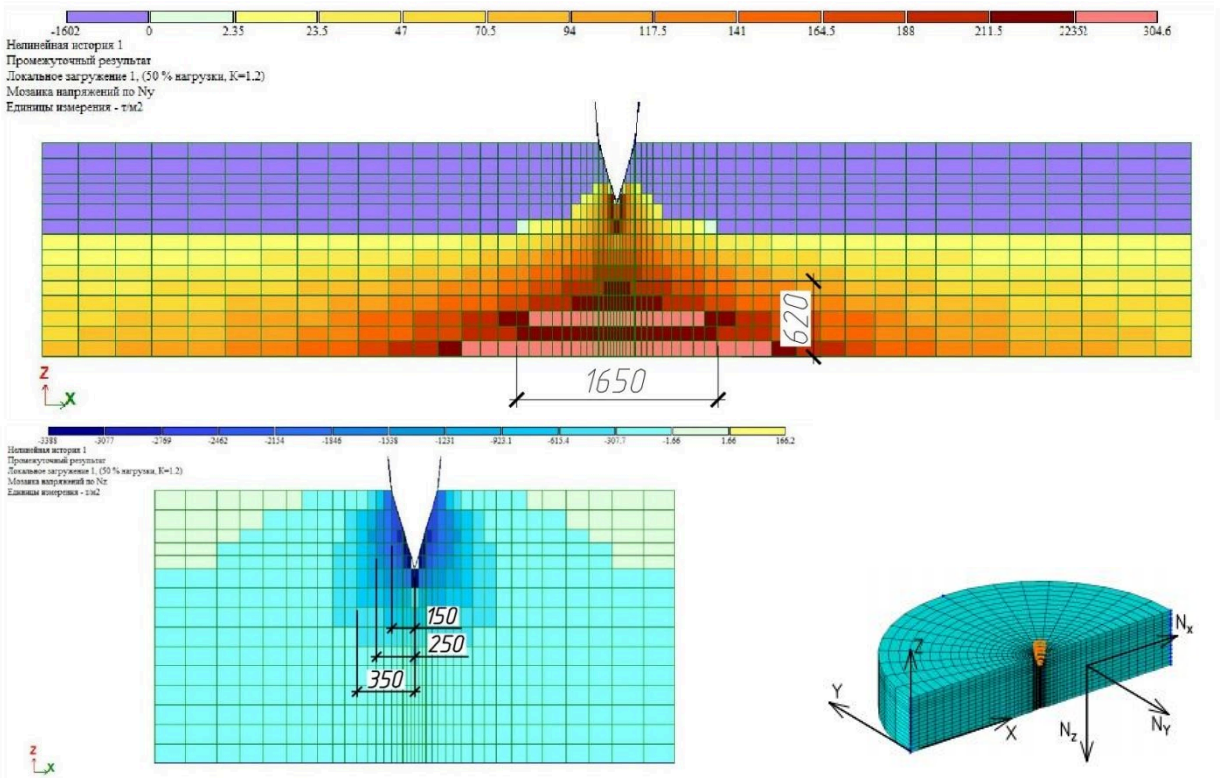


Рис. 4.14. Шаг нагружения № 10. Мозаики напряжений σ_Y и σ_Z . Суммарная эквивалентная нагрузка от удара 1250 т, появление в бетоне первых растягивающих напряжений, превышающих прочность бетона на растяжение. Определение зоны стыка в бетоне под обтекателем или БЧ ракеты и размеров зоны трещинообразования внизу железобетонной плиты, общая принятая система координат направлений осей

Результаты расчета по шагу №15 показаны на рис. 4.15 – 4.16, а по шагу №20 – на рис. 4.16 – 4.17.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

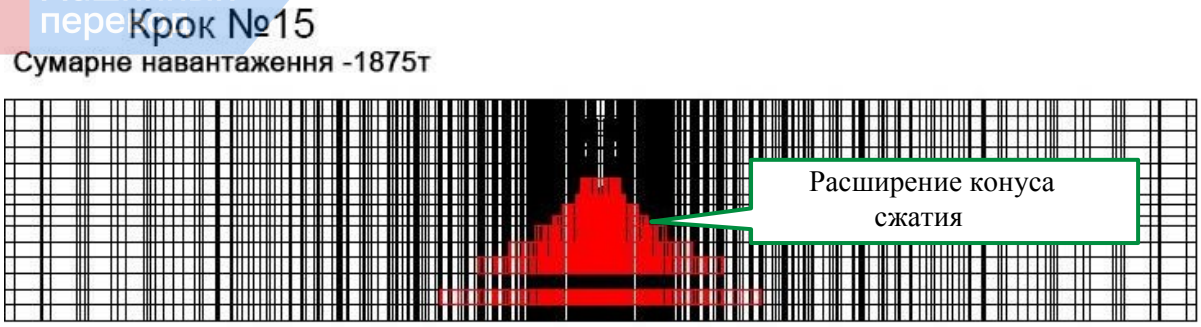


Рис. 4.15. Шаг нагружения № 15. Суммарная эквивалентная нагрузка от удара 1875 т, образование конуса предельных растягивающих напряжений бетона под обтекателем или БЧ ракеты

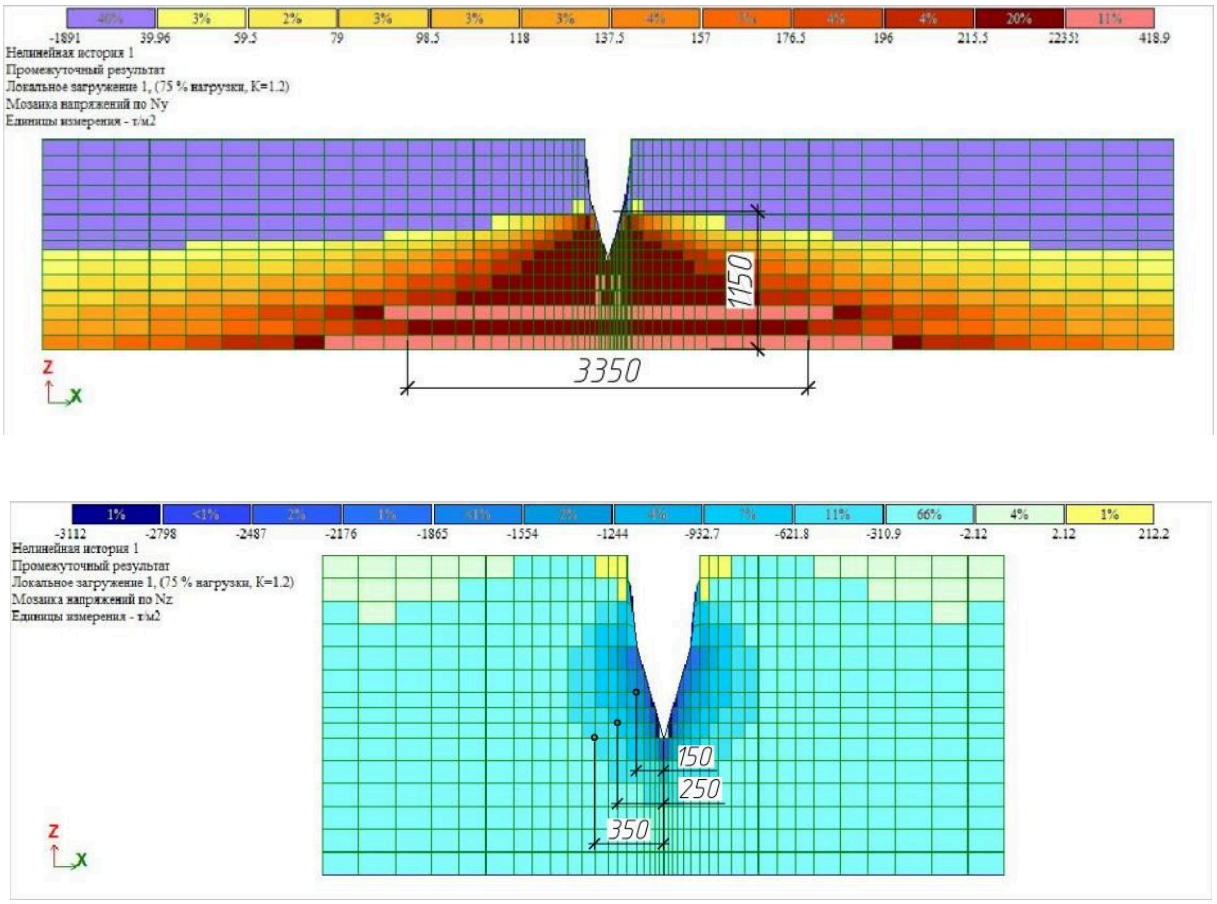
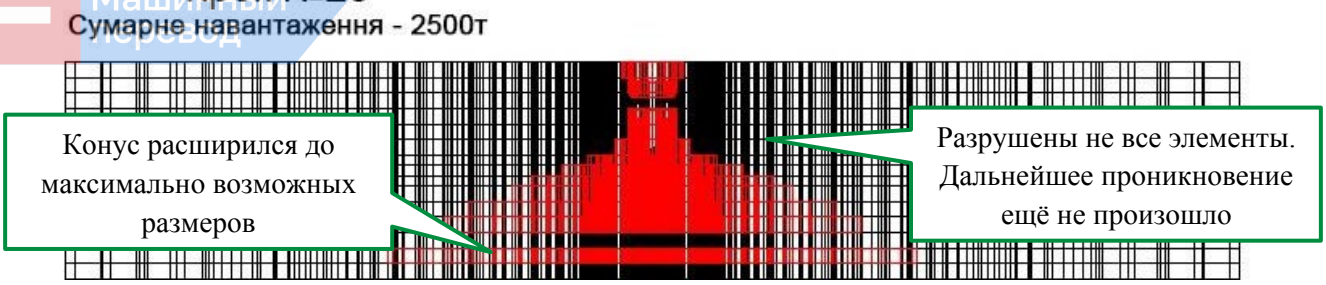


Рис. 4.16. Этап нагружения № 15. Мозаика напряжений σ_Y и σ_Z . Суммарная эквивалентная нагрузка от удара 1875 т. Определение зоны стыка в бетоне под обтекателем или боеголовкой ракеты и размеров зоны трещинообразования внизу железобетонной плиты

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод



Мозаики напряжений σ_Y и σ_Z на текущем шаге:

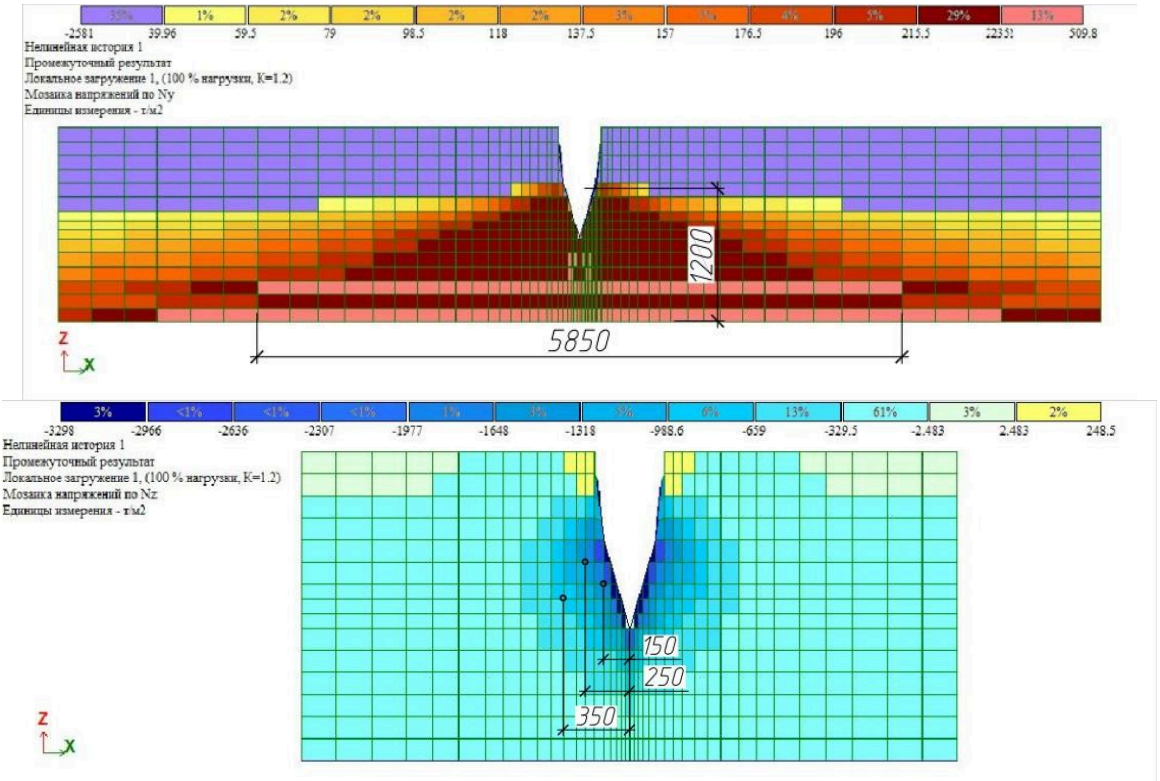


Рис. 4.17. Шаг нагружения № 20. Мозаики напряжений σ_Y и σ_Z . Суммарная эквивалентная квазистатическая нагрузка от удара задана равной 2500 т. Разрушены не все элементы. Дальнейшее проникновение ещё не произошло. Определение зоны стыка в бетоне под обтекателем или боеголовкой ракеты и размеров зоны трещинообразования внизу железобетонной плиты

Сводные данные результатов моделирования приведены в табл. 4.3–4.5.

Таблица 4.3

Сводная таблица характеристик сжатой зоны бетона B50 матраса

Расстояние от эпицентра	Сжимающее напряжение, σ_z т/м^2		
	Шаг № 10 1250 т	Шаг № 15 1875 т	Шаг № 20 2500 т
Носовая часть ракеты	–1815	–2200	–2585
R=0,15 м.	–1120	–1990	–2730
R = 0,25 м.	–750	–1300	–1930
R = 0,35 м.	–455	–706	–070
R = 0,45 м.	–330	–510	–730

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

Таблица 4.4

Сводная таблица характеристик растянутой зоны бетона (арматура Ø20 А500С, сечение 200×200 мм)

Расстояние от эпицентра	Растягивающее напряжение, σ_y т/м^2		
	Шаг № 10 1250 т	Шаг № 15 1875 т	Шаг № 20 2500 т
R=0 м.	318	392	470
R = 0,8 м.	266	290	346
R = 1,6 м.	210	266	294

Таблица 4.5

Сводная таблица смещений нижней зоны

Расстояние от эпицентра	Смещение, мм		
	Шаг № 10 1250 т	Шаг № 15 1875 т	Шаг № 20 2500 т
R=0 м.	26,2	39,5	53
R = 0,8 м.	26	39,2	52,5
R = 1,6 м.	25,9	39	52

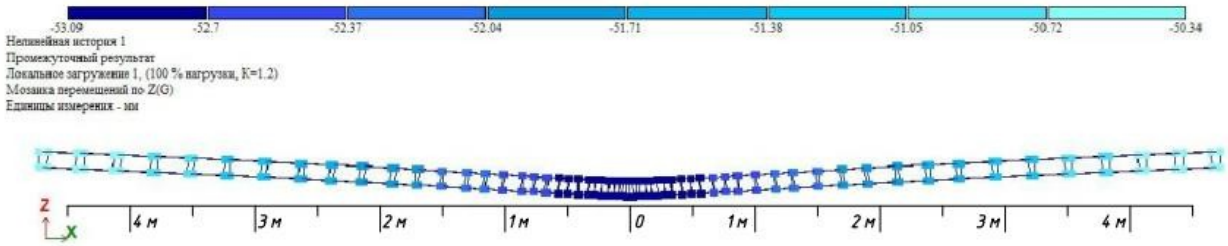


Рис. 4.18. Характерная схема перемещений

Выводы по результатам численного эксперимента. Поскольку на конечной стадии разрушились не все элементы, можно обоснованно считать, что дальнейшего проникновения ракеты в железобетонный блок не происходит. Напряжения армированных элементов не достигли критических, это дает основания полагать, что при эквивалентной квазистатической нагрузке от удара 2400–2500 т разрушение арматурных каркасов не происходит.

Следовательно, верхняя защитная конструкция матраса способна выдержать расчетную ударную нагрузку с определенным запасом надежности.

4.4. Экспериментальные численные исследования защитных сооружений третьего уровня защиты

Для определения распределения напряжений в сооружениях третьего уровня инженерной защиты с учётом квазистатического приложения ударной нагрузки от попадания ракеты было проведено моделирование численного эксперимента в конечно-элементом расчётном комплексе SCAD.

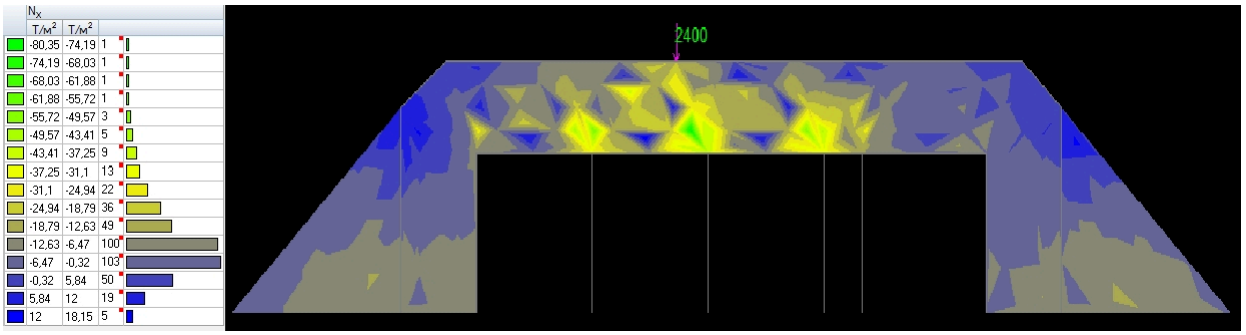
В качестве геометрических и физических параметров сооружения заложены исходные данные, полученные в разделах 3 и 5. Уточнение данных осуществлено на основе проектной документации стадии «П» от генерального проектировщика. Поскольку целью

Пожертвовать на русскую Победу

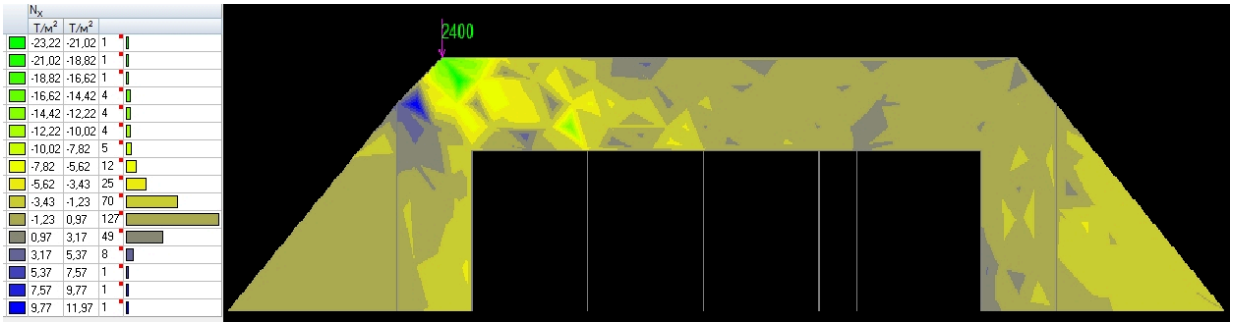
ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН

эксперимента является получение качественной картины, построена плоская конечно-элементная модель. Рассмотрены два случая приложения нагрузки: в середине сооружения и на углу матраса. Приложена аварийная нагрузка 2400 т, что соответствует эквивалентной квазистатической характеристической нагрузке от удара ракеты по консервативному подходу расчета (см. раздел 5). Кроме того, учтены все постоянные нагрузки от собственного веса конструкций внутреннего каркаса остова, распределительного слоя и матраса. Учтены параметры жесткости каркаса остова, слоя грунта и матраса на основе предварительных проектных данных.

Конструктивная схема принята по проекту как неразрезная, сталежелезобетонные ригели жестко соединяются с железобетонными или сталебетонными колоннами. Графические результаты расчетов приведены на рис. 4.19 – 4.23.



а



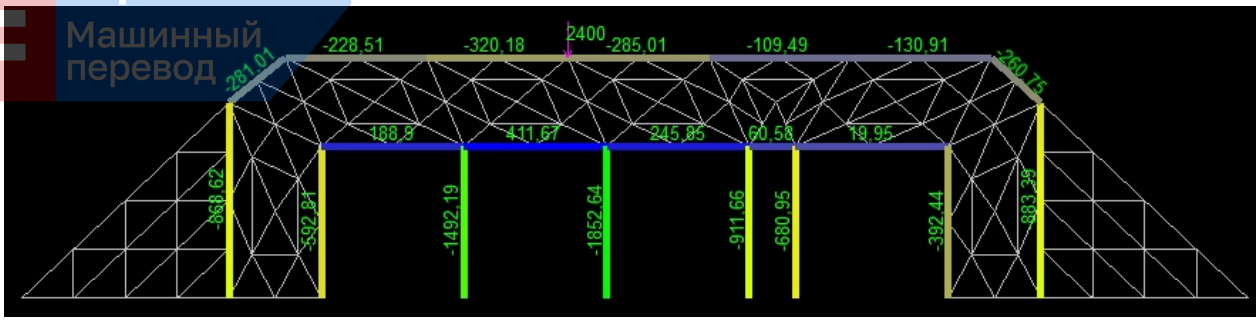
б

Рис. 4.19. Результаты распределения напряжений в сооружении при центральном *а* и боковом *б* приложения ударной нагрузки от прямого попадания ракеты в амортизирующую подушку

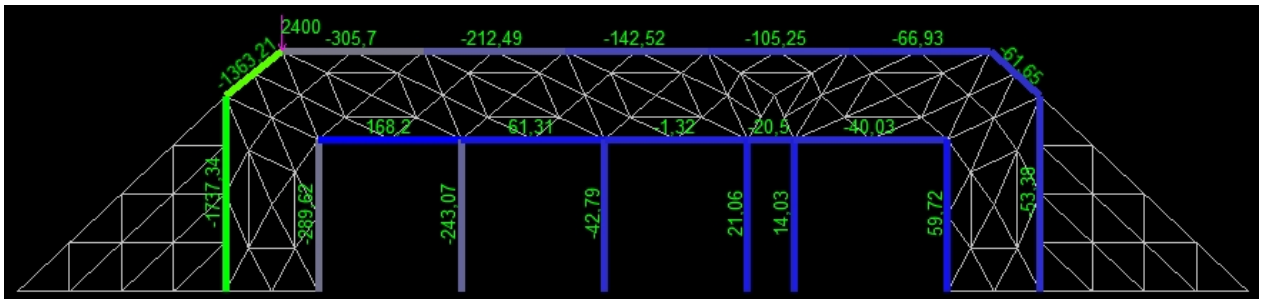
Обсуждение и выводы. Анализ полученных результатов распределения напряжений показывает, что распределительный слой грунта и железобетонный тюфяк играют существенную роль в перераспределении напряжений, благодаря чему уменьшаются моментные усилия в неразрезных ригелях и продольные усилия в колоннах каркаса внутреннего каркаса. Кроме того, толщина и жёсткость распределительного слоя грунта, а также жёсткость «матраса» позволяют уменьшить горизонтальные и вертикальные смещения в основном сооружении.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

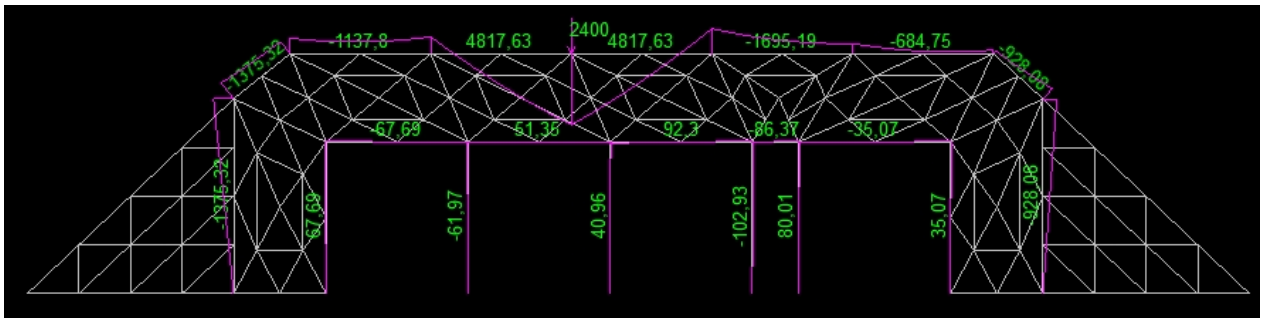


а

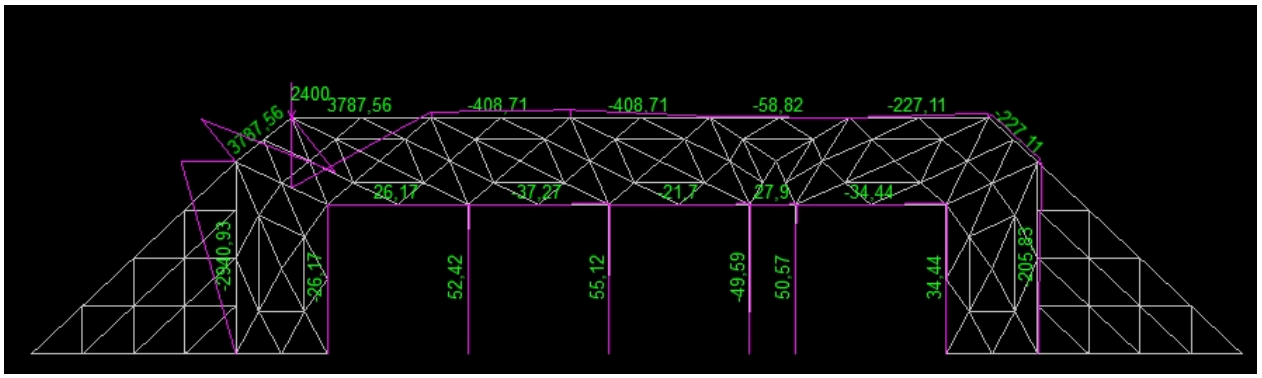


б

Рис. 4.20. Продольные усилия в стержневых элементах при центральном *а* и боковом *б* приложения ударной нагрузки от прямого попадания ракеты в матрас



а

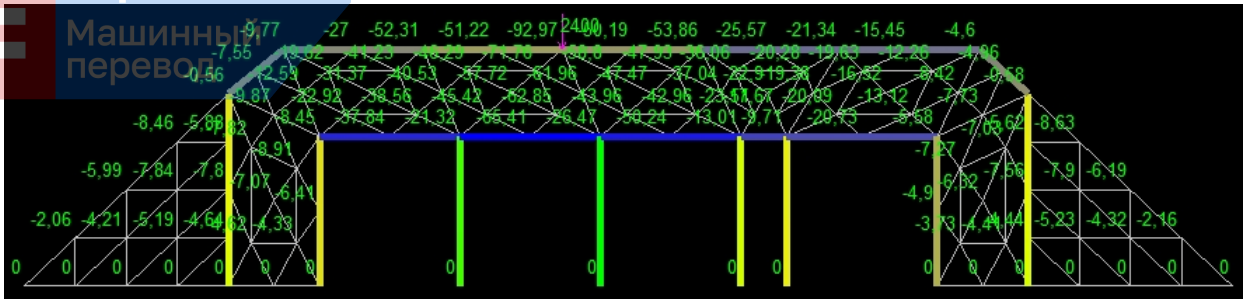


б

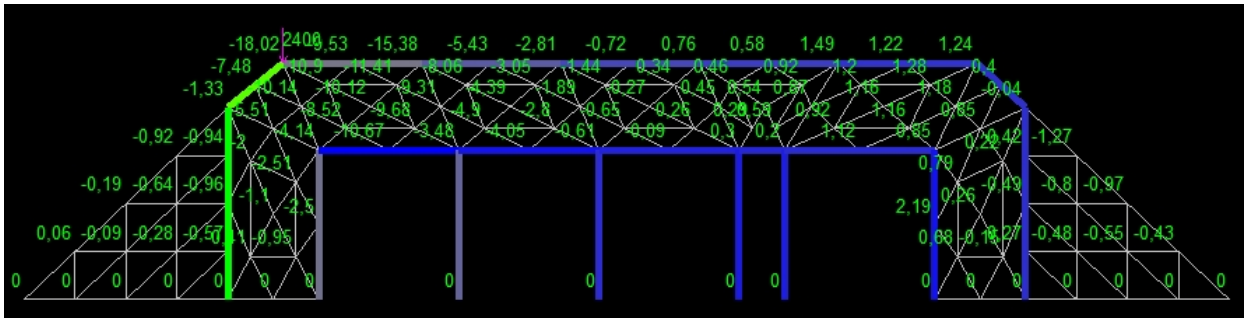
Рис. 4.21. Изгибающие моменты в стержневых элементах при центральном *а* и боковом *б* приложении ударной нагрузки от прямого попадания ракеты в матрас

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

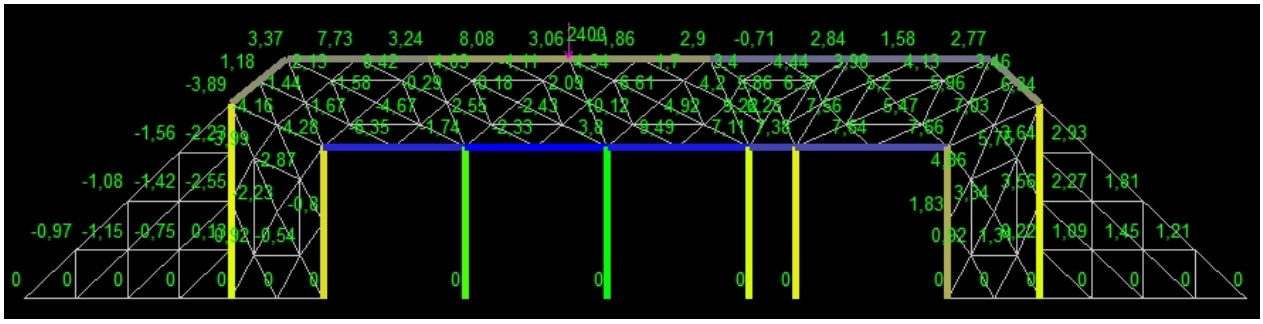


а

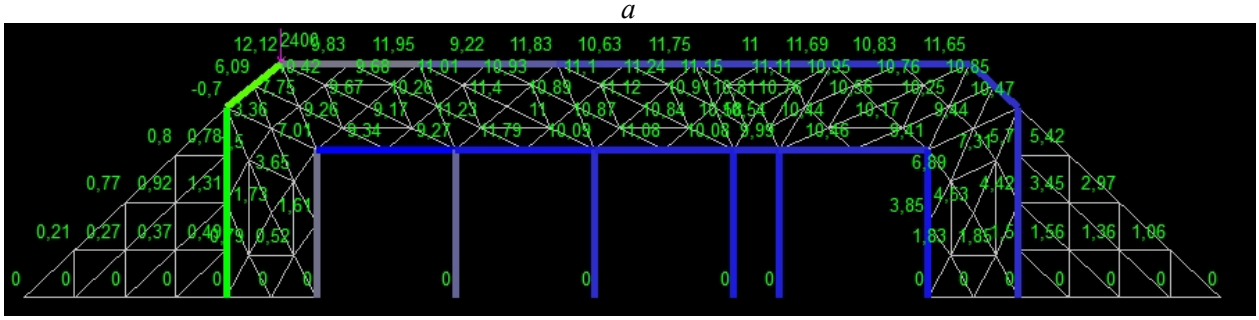


б

Рис. 4.22. Значения вертикальных перемещений в узлах модели при центральном *а* и боковом *б* приложении аварийной ударной нагрузки от прямого попадания ракеты в матрас



а



б

Рис. 4.23. Величины горизонтальных смещений в узлах модели при центральном *а* и боковом *б* приложении ударной нагрузки от прямого попадания ракеты в тюфяк

Таким образом, ряд проведенных натурных и численных экспериментов позволил уточнить параметры аварийных воздействий на сооружения второго и третьего уровня инженерной защиты от факторов поражения ЗПН, а также верифицировать результаты аналитических расчетов, приведенных в разделе 5.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН

РАЗДЕЛ 5. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ ПО ПРИНЦИПУ «СТРАНА-КРЕПОСТЬ»

5.1. Определение расчетных сценариев и воздействий на конструкции защитных сооружений

Для расчетов конструкций инженерных сооружений и их элементов должны быть определены классы последствий сооружений и категории ответственности конструкций в соответствии с ДБН В.1.2-14. В подавляющем большинстве случаев ОКИ будут относиться к классу последствий СС3. Расчет с учетом факторов поражения может рассматриваться как аварийная расчетная ситуация.

Общие воздействия на инженерные и защитные сооружения, рассматриваемые в данной работе, подразделяются на обычные воздействия и воздействия факторов поражения ЗПН. Обычные воздействия включают в себя нагрузки в соответствии с ДБН В.1.2-2:

1. Собственный вес конструкций, отделочных слоев, обсыпок и т. п. Постоянные нагрузки всегда присутствуют в аварийных расчетных сочетаниях;
2. Полезные временные нагрузки. В аварийное расчетное сочетание входит только ограниченная часть полезных нагрузок, соответствующих моменту возможного воздействия;
3. Ветерные, гололедно-ветерные нагрузки. Для невысоких сооружений, к которым в большинстве случаев относятся элементы ОКИ, в аварийных расчетных сочетаниях не учитываются;
4. Температурные естественные нагрузки учитываются для сооружений с открытыми наружу конструкциями. При наличии сплошной грунтовой обсыпки и/или ограждающих конструкций, а также при наличии других оснований, температурные нагрузки могут не учитываться.

При подходе к защитным инженерным сооружениям с точки зрения ДБН В.2.2-5 сейсмические нагрузки, учитывая нагрузки от факторов поражения ЗПН, могут не рассматриваться. В то же время такое требование может касаться типа предприятия ОКИ в целом или это может быть определено дополнительно в задании на проектирование.

Возможные крановые нагрузки обычно не входят в аварийное расчетное сочетание, так как в случае опасности все работы на кранах прекращаются, а грузы опускаются вниз. Чтобы исключить падение кранов на элементы ОКИ, во время воздушной тревоги их следует отводить в безопасную зону стоянки.

Бесспорно, помимо аварийных сочетаний, защитные инженерные сооружения должны выдерживать атмосферные и другие вышеуказанные нагрузки и воздействия в соответствии с ДБН В.1.2-14 [1] и ДБН В.1.2-2 [2] в нормальных условиях эксплуатации.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

Наиболее опасными местными факторами поражения ЗПН противника являются: ударная нагрузка в случае попадания, давление взрывной ударной волны и действие осколков. При этом учитывается одновременно только один фактор поражения ЗПН.

Аварийными неодновременными нагрузками на инженерные сооружения являются следующие:

От аварийных техногенных и вторичных ситуаций:

1. Температурные пожарные нагрузки, живучесть при пожаре;
2. жизнеспособность во время аварийных действий;
3. Возможное неравномерное оседание опор;
4. Баражный эффект в соответствии с ДБН В.2.2-5 (если это регламентировано техническим заданием на проектирование и условиями строительства).

От воздействия факторов поражения ЗПН:

1. Ударная нагрузка от прямого попадания ракеты (с учетом различных сценариев);
2. Воздействие ВУХ (квазистатическое, динамическое или импульсное в зависимости от параметров ВУХ) на сооружение в случае подрыва БЧ, при этом должны быть учтены различные сценарии;
3. Комбинированное давление на остов в соответствии с нормами, в частности ПФ-43 [8], при этом должны быть учтены различные сценарии;
4. Эквивалентное квазистатическое давление 2 кг/см^2 на переднюю открытую часть сооружения (опция для сводного учета непрямых попаданий).

Кроме того, если это предусмотрено заданием на проектирование, на сооружения учитывается воздействие эквивалентной ВУХ от ядерного удаленного взрыва согласно ДБН В.2.2-5.

Возможность поражения элементов сооружений стрелковым, артиллерийским и др. оружием определяется заданием на проектирование в соответствии с ДСТУ 4547, ДСТУ 4546, ДСТУ 8782 и др.

Квазистатическая, динамическая и импульсная нагрузки — это термины, используемые для описания различных типов нагрузок, которые могут воздействовать на сооружение во время его эксплуатации. Основным различием между этими типами нагрузок является характер временной зависимости нагрузки и скорость изменения её величины.

Квазистатическая нагрузка — это нагрузка, которая изменяется медленно по сравнению со временем реакции сооружения на неё. Такую нагрузку можно считать постоянной в течение длительного периода времени.

Динамическая нагрузка — это нагрузка, которая изменяется со временем, однако изменения происходят медленно по сравнению с характерным временем собственных колебаний сооружения.

Импульсная нагрузка — это нагрузка, которая имеет короткое время действия по сравнению со временем реакции сооружения на эту нагрузку.

Разница между квазистатической, динамической и импульсной нагрузкой заключается в том, как быстро они изменяются во времени и каково время реакции сооружения на эту нагрузку.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

Кроме того, если это не обеспечено организационно-техническими мерами, при проектировании сооружений инженерной защиты следует учитывать случаи террористических актов, диверсий, пожаров, наводнений, техногенных аварий, катастроф, ударов транспорта, загрязнения среды опасными химическими веществами, биологического заражения и т. п., которые могут представлять угрозу для элементов ОКИ. К организационно-техническим мерам относится предотвращение прямого воздействия ударов транспорта на сооружения и их элементы путем установки специальных болардов, полос безопасности, препятствий, заборов и т. п.

Спецификой проверок защитных сооружений является также проведение особых расчетов — компоновочных, с определением геометрии и материалов, расчетов на проникновение, разрушение от попадания и от воздействия осколков и т. д., которые не могут быть выражены в терминах нагрузок согласно ДБН В.1.2-2.

Как указано выше, сооружения инженерной защиты подлежат расчетам на прогрессирующее разрушение для обеспечения «единичной живучести». Концепция «единичной живучести» предполагает, что в случае аварийных воздействий в каркасе сооружения допускаются локальные обрушения отдельных несущих элементов в пределах одного уровня (выпадение колонны, плиты перекрытия, балки и т. п.), но эти начальные обрушения не должны приводить к обрушению или разрушению конструкций, на которые передается нагрузка, ранее воспринимавшаяся элементами, поврежденными в результате аварийного воздействия. Для сооружений класса последствий СС3 предусматривается единичная живучесть в соответствии с ДБН В.1.2-14, что означает устойчивость конструктивной системы к удалению одного (но любого) элемента. При расчете на живучесть конструкций каркасов защитных сооружений следует учитывать:

- перераспределение усилий в случае вывода элементов из строя на другие элементы;
- возможные изменения расчетных длин элементов при выводе из строя элементов, примыкающих к ним и служащих для них раскреплением;
- возможное падение элементов каркаса на расположенные ниже расположенные конструкции;
- возможные вторичные факторы (падение ограждающих конструкций и т. п.).

Допускается исключать отдельные факторы, которые могут быть причиной прогрессирующего разрушения, если надлежащим образом выполнены конструктивные и другие меры, например, обеспечены зоны безопасности и т. п. Расчет на прогрессирующее разрушение может быть фактором технико-экономического обоснования целесообразности строительства при сравнении различных вариантов конструктивных схем. Схемы разрушения следует задавать в соответствии со специальными сценариями (с определением зон разрушения, последовательности и т. п.), которые необходимо разрабатывать с учетом особенностей конструктивной схемы и на основе оценки рисков. Разработанные сценарии должны быть реалистичными и основываться на анализе мирового опыта возникновения аварийных воздействий, приведших к прогрессирующему разрушению в аналогичных конструктивных схемах. Для оценки устойчивости сооружения к прогрессирующему разрушению

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

необходимо рассматривать только самые опасные расчетные схемы обрушения. Направлять аварийные воздействия и учитывать их последствия следует наиболее неблагоприятным образом, с учетом расположения вероятного источника воздействий [3].

При проверке каркаса на прогрессирующее разрушение расчетные прочности материалов (стали, бетона, арматуры) принимаются равными их характеристическим значениям. Постоянные и квазипостоянные значения нагрузок при проверке устойчивости здания к прогрессирующему разрушению следует принимать в соответствии с ДБН В.1.2-2 [2]. Переменные кратковременные нагрузки при расчете на прогрессирующее разрушение не учитываются. Коэффициенты сочетаний должны назначаться как для аварийной расчетной ситуации, коэффициенты надежности по нагрузке принимаются равными единице. Расчет прочности и устойчивости элементов каркаса проводят на аварийное сочетание воздействий, включающее постоянные и длительные временные нагрузки, а также изменения каркаса сооружения в результате локальных гипотетических обрушений. Следует также учитывать воздействие и характер возможного разрушения вышерасположенных этажей или расположенных рядом зданий и сооружений. Кроме того, при выборе сценария и с учетом последствий разрушения следует, при необходимости, учитывать эксплуатационную пригодность путей эвакуации для обеспечения их основной функции после прекращения аварийного воздействия.

Величина деформаций и ширина раскрытия трещин при расчетах на прогрессирующее разрушение не ограничиваются. В то же время при расчете каркасов защитных сооружений следует учитывать перераспределение усилий от деформаций вследствие аварийного воздействия, геометрически нелинейную работу конструкций и/или возможность нанесения повреждений сопутствующим системам (например, трубопроводам высокого давления, высоковольтным линиям и т. п.) из-за вторичных факторов поражения.

В случае недостаточности (по любому сценарию локального разрушения) несущей способности хотя бы одного из элементов каркаса, кроме элемента, который был условно «исключен» из расчетной схемы, необходимо принять дополнительные меры по обеспечению устойчивости и живучести каркаса с целью недопущения прогрессирующего разрушения.

Схемы локальных (гипотетических) разрушений при аварийных воздействиях для большинства защитных сооружений подразделяются на два основных случая: обрушение частей перекрытий или покрытий и вывод из строя вертикальных несущих элементов. Нагрузка от аварийного обрушения вышерасположенного перекрытия на нижерасположенное принимается в пределах самой большой по размерам ячейки свободного опирания плиты между несущими пролетными конструкциями при условии разрезной схемы опирания плит. При этом отдельно рассчитывается и учитывается коэффициент динамичности перегрузки нижерасположенного перекрытия. При неразрезной и композитной схемах крепления плит к несущим пролетным конструкциям такой вариант разрушения не рассматривается. Обрушение может быть частичным или полным в зависимости от типа конструктивной схемы и других факторов. Особое внимание следует уделять случаям, когда падение пролетных элементов может

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН

увеличить расчетную длину вертикальных несущих конструкций и привести к потере ими устойчивости.

В случае вывода из эксплуатации вертикальных несущих элементов (колонн, пилонов, балок-стенок, далее — колонн) наиболее опасной схемой локального разрушения при обеспечении единичной живучести, как правило, является разрушение (удаление) отдельной колонны. В случае удаления колонны следует учитывать, что примыкающие к ней узлы не удаляются. Также в случае аварийного удаления колонн в расчете следует рассмотреть возможность дополнительного частичного или полного обрушения примыкающих конструкций с вышерасположенного перекрытия на нижерасположенное.

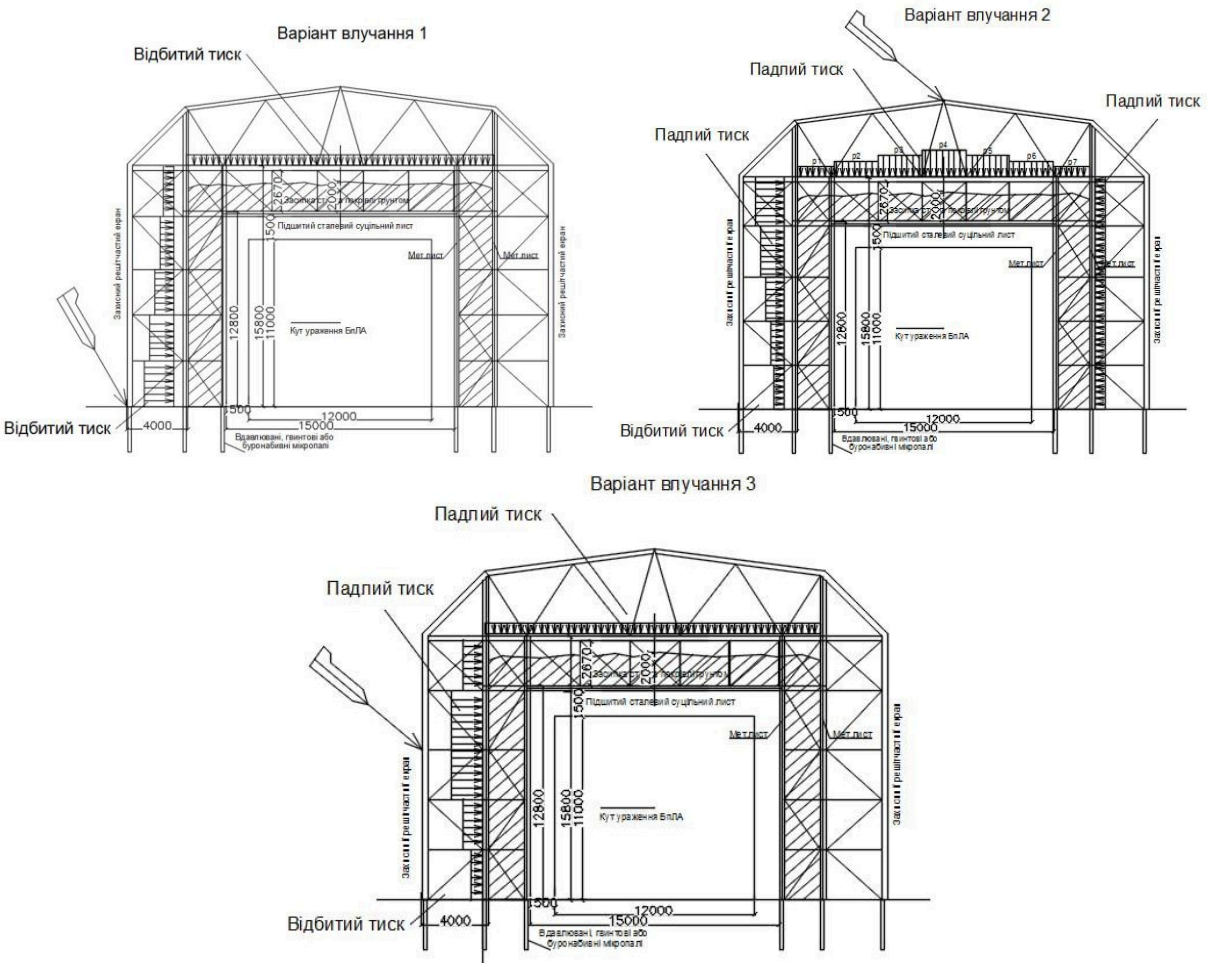


Рис. 5.1. Пример сценариев неодновременных воздействий попаданий и принципиального распределения падающего и отраженного давления на защитное инженерное сооружение второго уровня защиты типа «Шелтер»

Помимо вышеизложенного, в соответствии с ДБН В.1.1-7 [4] защитные сооружения должны быть устойчивыми к прогрессирующему разрушению вследствие пожара. Также отдельные конструкции должны быть защищены от огня согласно [5].

Гарантированный срок эксплуатации инженерных сооружений первого уровня защиты может не регламентироваться ввиду их временного характера (или приниматься на минимальном уровне 2–5 лет), однако такие сооружения должны регулярно восстанавливаться или заменяться по результатам технических осмотров. Защитные сооружения второго уровня инженерной защиты должны иметь гарантированный срок эксплуатации не ниже нормативного срока

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

эксплуатации сооружения. Защитные сооружения третьего уровня защиты должны иметь гарантированный срок эксплуатации без учета попаданий — 100 лет. Категории ответственности элементов сооружения могут быть приняты следующими:

- основные несущие элементы каркаса остова для сооружений третьего уровня защиты, ядра для сооружений второго уровня защиты, другие наиболее ответственные конструкции, обеспечивающие основную функцию сооружения – категория А;
- защитные распределительные элементы, конструкции оболочек и матрасов для сооружений третьего уровня защиты, предетонационные экраны для сооружений второго уровня защиты, второстепенные конструкции, обеспечивающие основную функцию сооружения — категория Б.

Сценарии и схемы действий должны быть определены реалистично в наиболее неблагоприятных вариантах с учётом специфики конфигурации и расположения элементов ОКИ и характеристик ЗПН.

На рис. 5.1 показаны примеры сценариев неодновременных действий факторов поражения ЗПН на защитные сооружения второго уровня защиты типа «Шелтер», а на рис. 5.2 — соответственно, на защитные сооружения третьего уровня защиты.

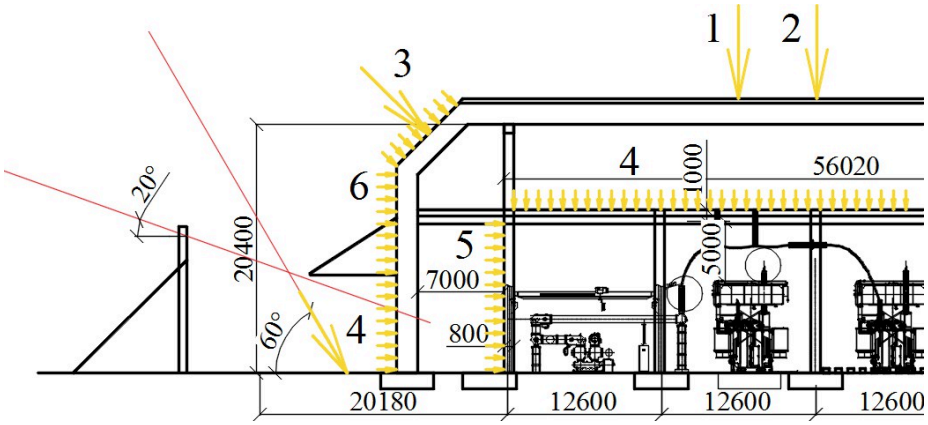


Рис. 5.2. Пример сценариев неодновременного воздействия на защитное инженерное сооружение третьего уровня защиты: 1 — удар ракеты в зоне над серединой пролета каркаса, 2 — удар ракеты в зоне над колонной каркаса, 3 — под углом к месту удара ракеты, 4 – место попадания и взрыв БЧ в случае максимально близкого промаха (рассчитывается движение ВУХ и осколков вглубь сооружения), 5 – давление ВУХ в грунте от подрыва БЧ ракеты на «матрасе», согласно нормам ПФ-43 [8], 6 – эквивалентное квазистатическое давление 2 $кг/см^2$ на переднюю открытую часть сооружения (или рассчитанное давление от непрямого попадания за пределами сооружения)

Повреждения элементов ОКИ в результате поражения ЗПН могут подразделяться на следующие:

1) Первичные:

- осколочное действие первичными осколками;
- фугасное действие ВУХ;
- проникающее действие ЗПН;
- силовое действие;
- воспламеняющее действие отдельных видов БЧ или остатков горючего ЗПН;
- прочее воздействие (электромагнитное и т. п.).

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

2) **Вторичные:**

- осколочное действие вторичными обломками;
- удар частей ЗПН;
- проникающее воздействие частей ЗПН;
- возгорание в результате пожара;
- падение частей других элементов, конструкций и т. п.;
- опосредованное воздействие (поражение систем безопасности и т. п.) [6, 7].

Точные расчеты инженерных защитных сооружений на воздействие факторов поражения, таких как взрывы, удары, проникающая способность обломков и т. п., рекомендуется проводить с помощью специальных расчетных комплексов на основе метода конечных элементов, учитывать данные натурных и численных экспериментов, опыт поражения аналогичных и подобных сооружений в случае наличия такового (см. раздел 4). Данные о характеристиках факторов поражения ЗПН могут быть взяты из справочных и научно-технических источников. При этом для ракет и БПЛА рекомендуется уменьшать их массу в момент попадания по сравнению со стартовым весом; расчетную скорость рекомендуется уменьшать в соответствии со значениями в момент попадания и реальной траекторией; при расчете движения БГ проникающего типа внутри конструкции сооружения следует учитывать только вес БГ, так как корпус ЗПН разрушается в момент удара. Для уточнения параметров ЗПН противника рекомендуется использовать данные натурных экспериментальных исследований защитных свойств конструкций и сооружений, а также статистические сведения о реальных попаданиях ЗПН в ОКИ.

5.2. Предварительное определение параметров защитных конструкций

Ниже приведена приближенная методика определения параметров конструктивной инженерной защиты и компоновки защитных слоев сооружений при условии прямого единичного попадания снарядов, бомб, БПЛА или ракет согласно [8] (далее — снарядов). Система защиты заглубленных сооружений от воздействия прямых попаданий снарядов состоит из четырёх обязательных компонентов (сверху вниз):

1) обсыпка сооружения, которая выполняет маскировочные функции, а также препятствует разлету осколков и в некоторых случаях инициирует преждевременный взрыв боевой части;

2) подушка, выполняющая роль задерживающей плиты и предназначенная для остановки процесса механического проникновения заряда и, соответственно, удаления места его возможного взрыва в случае фугасного воздействия;

3) распределительный слой, который должен амортизировать взрывную волну во время взрыва заряда на тюфяке;

4) несущий слой — каркас остова заглубленной конструкции, который должен выдерживать как собственный вес с нормальным давлением грунта, так и варианты давления от ВУХ в земле — вертикального или бокового (рис. 5.3).

Ударная нагрузка, приходящаяся на обсыпку и матрас, может быть рассчитана как механическая сила удара, действующая на физическое тело при контакте

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН

с другим физическим телом. Поэтому защитный слой (подушка) должен быть отдельно рассчитан на ударную нагрузку при попадании, особенно с учетом больших значений силы удара для скоростных ракет и проникающего типа их БГ.

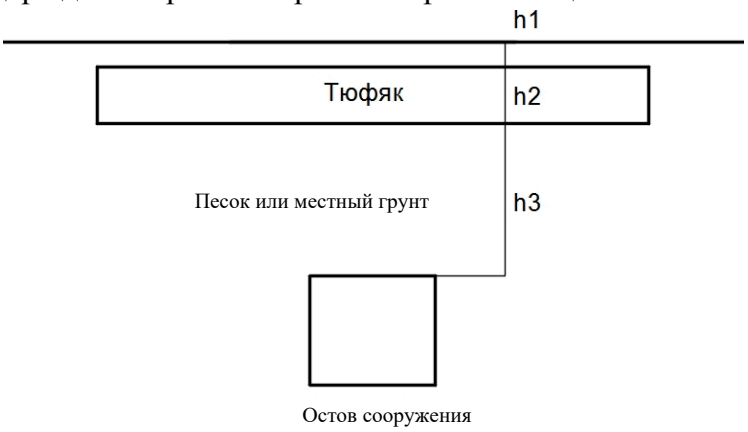


Рис. 5.3. Схема устройства защиты заглубленного объекта

Сначала вычисляют радиус $h_ф$ разрушения грунта:

$$h_ф = K_ф \sqrt[3]{C} - Ц, \quad (5.1)$$

где $K_ф$ – коэффициент податливости среды фугасного воздействия – разрушение или отколу, определяется по табл. 5.1;

C – масса ВР в БЧ, кг;

$Ц = L/2$, расстояние от центра заряда до поверхности, на которой механически остановился снаряд, в метрах;

L – длина снаряда (которая для ракеты может быть приблизительно принята за длину её БЧ).

Общая глубина проникновения заряда (в данном случае ракеты) определяют по следующему эмпирическому выражению:

$$h_{пр} = \lambda K_{пр} \frac{P}{d^2} v \cos\alpha \quad (5.2)$$

где $h_{пр}$ – глубина проникновения снаряда по нормали к внешней поверхности препятствия в метрах;

λ — коэффициент, зависящий в основном от формы снаряда, равный 1,3 при стрельбе бетонобойными снарядами по бетону и 1,0 в остальных случаях;

$K_{пр}$ – коэффициент податливости данной среды к проникновению (см. табл. выше);

P – масса снаряда в момент столкновения с препятствием, кг. Поскольку речь идет о механической проникаемости, то для ракет значение P может быть принято равным массе ракеты в момент попадания;

d – диаметр снаряда (авиабомбы, ракеты), м;

v – скорость снаряда (авиабомбы, ракеты) в момент столкновения с препятствием, в м/с;

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН

α – угол между перпендикуляром к внешней поверхности препятствия и касательной к траектории снаряда; в случае ракет это угол столкновения с препятствием.

Таблица 5.1

Коэффициент податливости среды при ударе или взрыве

Наименование среды	Значения коэффициентов		
	Проникновение $K_{пр}$	Взрыва $K_{вз}$	
Рыхлый свеженасыпанный грунт	0,0000130	0,60	
Обычный грунт	0,0000065	0,53	
Плотный песок	0,0000045	0,50	
Супес	0,0000050	0,50	
Суглинок	0,0000060	0,50	
Плотная глина	0,0000070	0,50	
Известняковая или песчаная скала	0,0000020	0,25	0,92
Гранитная или гнейсовая скала	0,0000016	0,20	0,86
Сосна	0,0000050	0,30	0,60
Дуб, бук, ясень	0,0000040	0,30	0,60
Кирпичная кладка насухо	0,0000030	0,25	0,96
Каменная кладка насухо	0,0000030	0,25	0,96
Кирпичная кладка на цементном растворе	0,0000025	0,25	0,88
Каменная кладка на цементном растворе	0,0000020	0,20	0,84
Бутобетон	0,0000016	0,18	0,70
Бетон марки 200 кг/см^2	0,0000013	0,18	0,65
Железобетон марки 200 кг/см^2	0,0000011	0,14	0,60
Фортификационный бетон марки 400 кг/см^2	0,0000010	0,16	0,60
Фортификационный железобетон марки 400 кг/см^2:			
с гибкой противооткольной защитой	0,0000008	0,13	
с жёсткой защитой от осколов	0,0000008	0,13	

Глубина проникновения снаряда в слоистой среде, которая определяется заменой этой среды эквивалентной однородной средой, пропорциональна соотношению коэффициентов $K_{пр}$ для материалов, которые входят в защитный слой. Полная глубина воронки h_B определяют в соответствии с выражением

$$h_{\text{В}} = h_{\text{ф}} + h_{\text{вз}} , \qquad (5.3)$$

где $h_{\text{ф}}$ – глубина проникновения;

$h_{\text{вз}}$ – глубина взрывной воронки, которую определяют по следующему выражению:

$$h_{\text{вз}} = K_{\text{вз}} \sqrt[3]{C} - Ц , \qquad (5.4)$$

где $K_{\text{вз}}$ – коэффициент податливости среды взрыва (см. табл. 5.1). Толщина внешней обсыпки, которая предназначена, помимо маскировки, для ослабления ударного и осколочного воздействия, должна составлять не менее 30…50 см. Толщина матраса в слоистых конструкциях при небольшой толщины обсыпки определяется по формуле:

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

$$h_т = 1{,}5h_{пр}, \qquad (5.5)$$

где $h_{пр}$ – глубина проникновения заряда по формуле (5.2), но с учетом принятия $K_{пр}$ для материала матраса.

Стены и покрытия каркасов защитных сооружений принимают после расчета конструкций на нагрузки от собственного веса, давления грунта и давления от ВУХ в соответствии с законами строительной механики и сопротивления материалов. Расчет конструктивных параметров стен или каркаса несущего каркаса зависит от расстояния b между снарядом, проникшим в грунт, и стеной. Если значение b = $0{,}75_{hф}$, расчет выполняется на эпизодическую эквивалентную квазистатическую характеристическую нагрузку от давления ВУХ 3 кг/см^2; если b = $1h_{(ф),}$эпизодическая эквивалентная квазистатическая характеристическая нагрузка принимается равной 1 кг/см^2. Расстояние b может быть принято равным консольному выносу тюфяка. Очевидно, что увеличивать значение b за счет консольного выноса тюфяка гораздо экономичнее, чем прикладывать большую нагрузку на весь каркас заглубленного сооружения. Конструктивно матрас представляет собой плавающую плиту на упругом основании, которая не должна быть жестко соединена с несущим каркасом защитного сооружения. Толщина распределительного слоя в слоистых конструкциях определяется выражением:

$$H_р = mh_ф, \qquad (5.6)$$

где m – коэффициент, зависящий от несущей способности конструкции каркаса.

Если конструкция перекрытия каркаса защитного сооружения может выдержать дополнительную эпизодическую эквивалентную статическую характеристическую нагрузку от взрыва 1 кг/см^2 , то m = 1, если может выдержать дополнительную эпизодическую эквивалентную статическую характеристическую нагрузку от взрыва 3 кг/см^2 , то m = 0,75. Промежуточные значения допускается принимать путем интерполяции.

С точки зрения экономичности, в большинстве случаев выгоднее увеличить распределительную толщину на 25 %, чем в три раза увеличить нагрузку на перекрытие.

Пример 5.1. Рассмотрим крылатую ракету Х-55/Х-555. Длина БЧ составляет L = 1,51 м, масса взрывчатого вещества C = 292,5 кг, диаметр d = 0,77 м, скорость в момент попадания v = 84,9 м/с, угол на подлете к объекту поражения $\alpha = 10^0$, P = 525 кг, БЧ фугасного действия. Для ракеты Х-55/Х-555 λ примем равным 1,0. Для однородного неслоистого грунта обсыпки (супес) коэффициент податливости этой среды к проникновению примем $K_{пр}$ = 0,0000050, тогда общая глубина проникновения ракеты в случае фугасного действия составит

$$h_{пр} = \lambda K_{пр} \frac{P}{d^2} v \cos\alpha = 1{,}0 \cdot 0{,}0000050 \cdot (525/0{,}77^2) \cdot 84{,}9 \cos 10^\circ = 0{,}37 \text{ м}.$$

Коэффициент податливости среды взрыва для супесчаной почвы $K_{вз}$ равна 0,50. Глубина взрывной воронки $h_{вз} = K_{вз} \sqrt[3]{C} - Ц = 0{,}5 \sqrt[3]{292{,}5} = 0{,}755 = 2{,}94$ м.

Полная глубина воронки $h_В = h_ф + h_{вз}$ = 5,88+2,94 = 8,82 м.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

При проведении расчетов рассмотрен случай, когда БЧ проникает через обсыпку и останавливается на тюфяке из фортификационного железобетона марки 400 с жестким или гибким противооскольчным покрытием. Коэффициент податливости этой среды проникновению $K_{пр}$ = 0,0000008. Тогда толщина тюфяка при небольшой толщине обсыпки составляет:

$$h_т = 1{,}5h_{пр} = 1{,}5 \cdot 1{,}0 \cdot 0{,}0000008 \cdot (525/0{,}77^2) \cdot 84{,}9 \cos 10^0 = 0{,}09 \text{ м}.$$

В случае, когда БО проникает сбоку от сооружения, для однородного неслоистого грунта (супес): $K_ф$ = 1. Тогда

$$Ц = L/2 = 1{,}51/2 = 0{,}755 \text{ м};$$

$$h_ф = K_ф \sqrt[3]{C} - Ц = 1 \cdot \sqrt[3]{292{,}5} - 0{,}755 = 5{,}88 \text{ м}.$$

Итак, принимаем b = $1h_ф$ = 6,0 м > 5,88 м, следовательно, нагрузку на стены каркаса можно принять равной 1 кг/см^2 . Толщина распределительного слоя при m = 1 и при соответствующей нагрузке от взрыва на перекрытие 1 кг/см^2 составляет: $H_р = m \cdot h_ф$ = 5,88 · 1 = 5,88 м. Следовательно, округляя принимаем распределительный слой толщиной 6,0 м. Аналогичные численные исследования были проведены для всех рассматриваемых типов ракет. Результаты приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Суммарная толщина защитного слоя заглубленных защитных сооружений в зависимости от типа ракеты

Тип ракеты	Общая глубина $h_{пр}$ проникновения ракеты, м	Принятая толщина обсыпки, м	Общая глубина проникновения ракеты в случае фугасного воздействия, м	Толщина матраса h_m при тонкой обсыпке, м	Глубина фугасного действия (и вынос матраса), м	Толщина распределительного слоя, м	Общая толщина, м
Х-59	0,92	0,3	0,15	0,22	4,91	4,91	5,43
Х-22	4,37	0,3	0,78	1,17	6,62	6,62	7,4
9М723 «Искандер»	6,29	0,3	1,01	1,51	5,20	5,20	6,21
Х-55/Х-555	0,37	0,3	0,06	0,09	5,88	5,88	5,94
3М-14К/Т «Калибр»	0,67	0,3	0,11	0,16	5,61	5,61	5,72
Х-47М2 «Кинжал»	7,28	0,3	1,17	1,75	5,48	5,48	6,64
Х-101	0,49	0,3	0,08	0,12	5,60	5,60	5,68
Х-59	4,32	0,3	0,69	1,04	4,69	4,69	5,38
Х-35	0,6	0,3	0,1	0,14	4,0	4,0	4,10

Выше рассмотрен заглубленный тип защитного сооружения с минимальной обсыпкой 0,3 м. Наиболее опасной для заглубленных сооружений является ракета Х-22, поскольку защита от ее прямых попаданий требует толщины распределительного слоя 6,62 м. В то же время ракета Х-47М2 «Кинжал» из-за значительной скорости требует наибольшей толщины матраса — 1,75 м.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

В качестве резерва надежности для защиты от разрушения ОКИ, в частности от воздействия перспективных ЗПН, предлагается сводный вариант компоновки заглубленных сооружений. На рис. 5.4 приведен пример компоновки с размерами для выбранного грунта распределительного слоя — супесчаника.

Поскольку направление прилета ракеты не может быть прогнозируемым, расширение «матраса» принято равномерным вокруг сооружения.

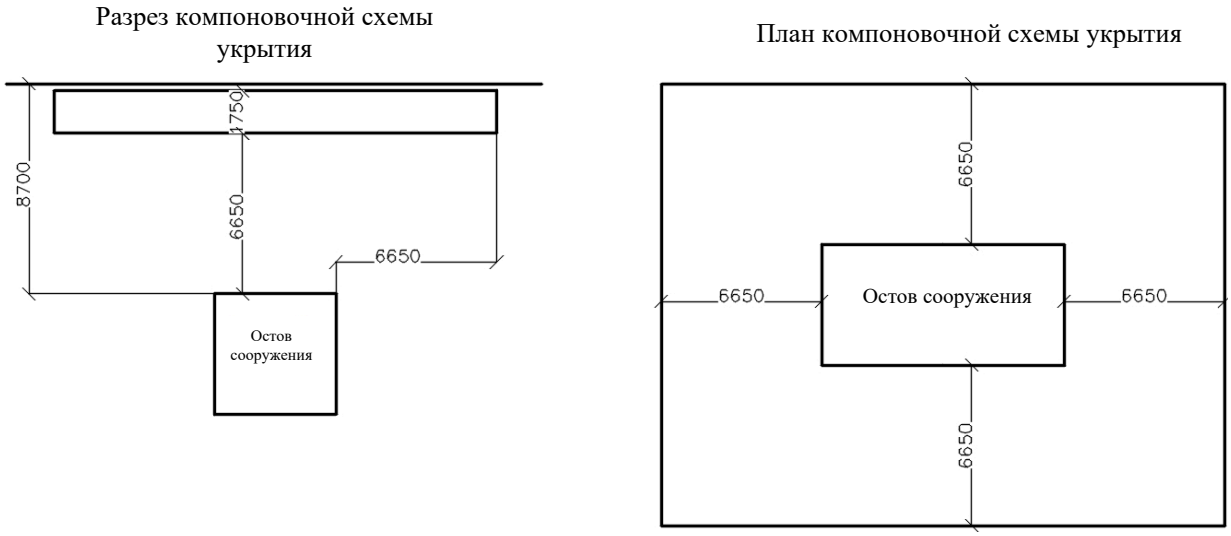


Рис. 5.4. Принципиальные размеры схемы компоновки заглубленного сооружения защиты критического элемента ОКИ

Для других типов грунтов, согласно таблице, приведенной в [8], также получены параметры схем компоновки заглубленных сооружений. Рыхлый грунт и скалистые типы грунтов не рассматривались. Полученные результаты приведены в табл. 5.3. Материал матраса — взят фортификационный железобетон марки 400 с жестким или гибким противоотскоком.

Таблица 5.3

Суммарная защитная толща подземных сооружений в зависимости от типа грунта распределительного слоя

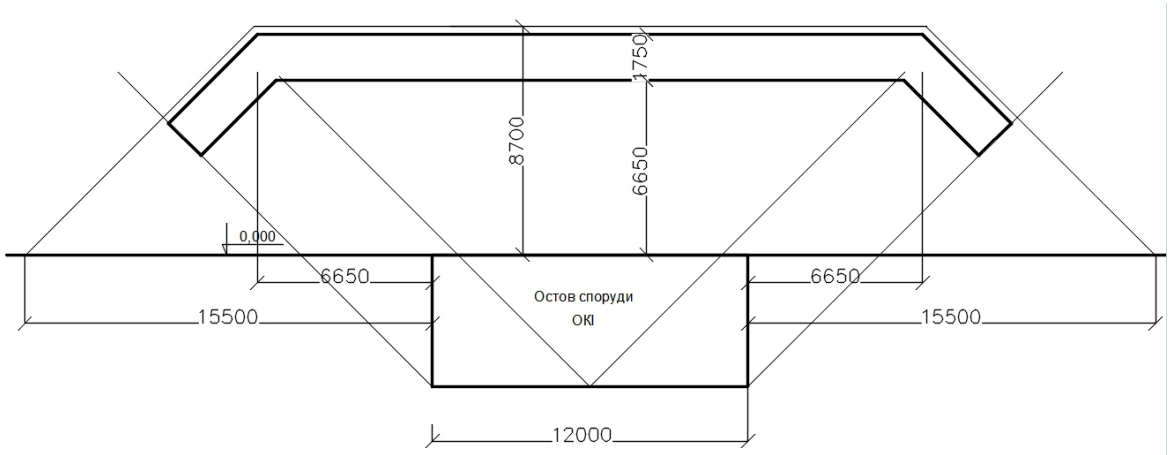
Тип грунта	Принятая толщина обсыпки, м	Толщина матраса при тонкой засыпке, м	Толщина распределительного слоя, м	Суммарная минимальная защитная толщина до несущего слоя, м
Супесок, суглинок, плотная глина	0,3	1,75	6,62	8,67
Плотный песок	0,3	1,75	6,97	9,02
Обычная почва	0,3	1,75	7,22	9,27

Если толщина матраса составляет 1,75 м, а толщина засыпки невелика, он рассчитан в первую очередь на ударную нагрузку от ракеты. Предполагается, что ракета остановится на матрасе и взорвется, причем он частично разрушится от механического проникновения и возможного взрыва. Армирование плиты матраса должно быть выполнено в несколько сеток со смещением по глубине, в двух

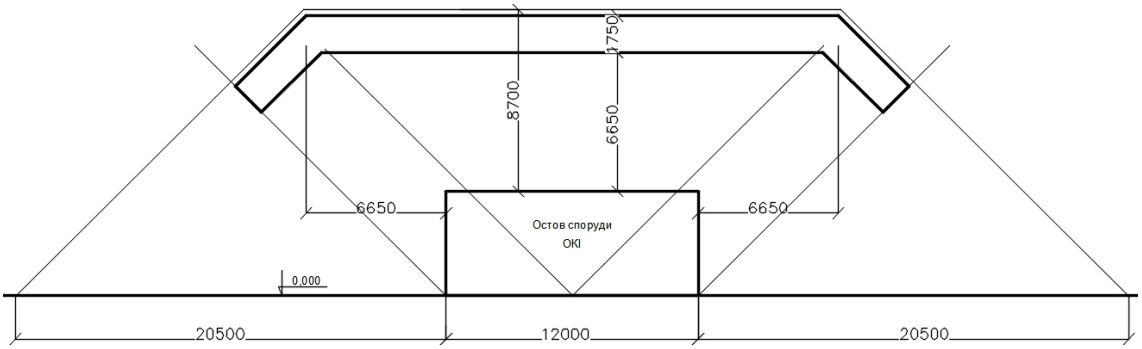
Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

направлениях, с учётом дополнительного противоотскокового слоя в нижней зоне, отсечек и швов бетонирования поэтапно. Под плитой устраивается подушка из уплотнённого щебня толщиной не менее 300 мм, а также бетонная подготовительная площадка толщиной 150 мм. Для уменьшения воздействия осадков на грунт обсыпки по верху плиты матраса целесообразно организовать водоотвод в специальные дренажные канавки и т. п. При высоком уровне грунтовых вод вокруг сооружения можно также предусмотреть специальные меры по понижению уровня грунтовых вод, гидроизоляции и дренажу. По разным причинам (плотность подземных коммуникаций, гидрогеологические условия и т. п.) сооружения могут быть частично заглублены или не заглублены вовсе. Решения для частично заглубленных сооружений имеют преимущество в том, что вынутый для заглубления грунт может быть использован в качестве обсыпки, что позволяет сбалансировать объемы земляных работ. С другой стороны, при этом теряется ровность поверхности над сооружением, а заодно и его маскирующие свойства, увеличиваются объемы внешней планировки территории.



а



б

Рис. 5.5. Пример разреза компоновочной схемы инженерного защитного сооружения: *а* – с частичным заглублением; б – без заглубления с обсыпкой

Решения для незаглубленных сооружений, в отличие от других, могут быть реализованы для существующих (преимущественно надземных) объектов. Однако при этом значительно увеличиваются объемы земляных работ, а обсыпка грунтом занимает значительную площадь вокруг сооружения и демаскирует его. Примеры компоновочных схем защитных сооружений с частичным заглублением и без заглубления для условного критического элемента ОКИ шириной 12 м показаны на рис. 5.5.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

Описанные решения требуют также дополнительных объемов железобетона для устройства «навеса», чтобы компенсировать недостаточную толщину грунта в случае угловых попаданий, обваловки с соответствующими стенами и т. п.

Целесообразно заглубленное размещение наиболее критических элементов ОКИ или их узлов [9].

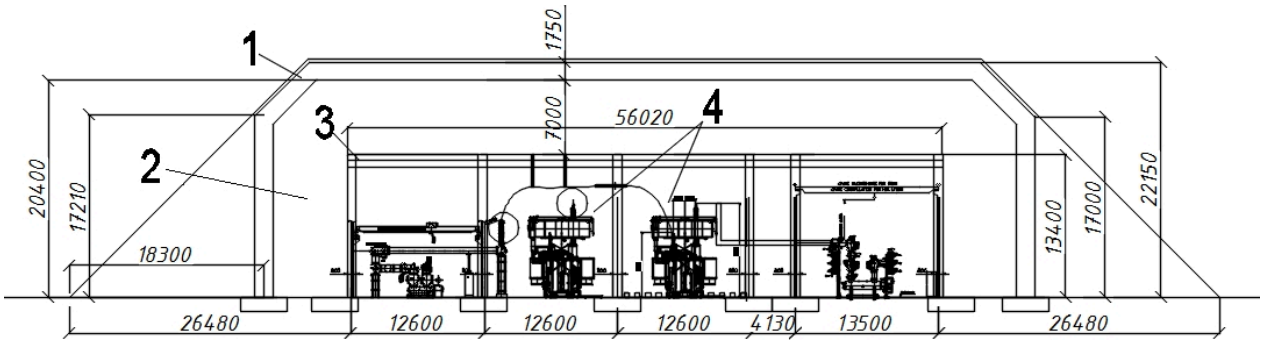


Рис. 5.6. Пример поперечного сечения компоновки элементов инженерной защиты новой подстанции 330 кВ с грунтовой обсыпкой: 1 — железобетонная оболочка (тюфяк); 2 — распределительная толща; 3 — каркас защитного сооружения; 4 — защищаемые элементы ОКИ

Наиболее простым с точки зрения технологичности является устройство защитного сооружения без заглубления с обсыпкой. На рис. 5.6 показан принципиальный вид сечения защитного сооружения для подстанции 330 кВ в случае её строительства на новом месте.

5.3. Определение воздействия основных факторов поражения ЗПН на несущие конструкции сооружений инженерной защиты объектов критической инфраструктуры

Ниже рассмотрим основные положения расчетов элементов и проверок несущих конструкций на воздействие основных факторов поражения ВВУ.

Действие ВУХ. Давление от воздушного ВУХ в основном определяется в зависимости от массы заряда ВР, расстояния от центра взрыва и условий окружающей среды. Ниже приведена приближенная методика расчета параметров ВУХ. Действие воздушного взрыва зависит от приведенного расстояния:

$$\bar{R} = \frac{R}{\sqrt[3]{Qef}}, \qquad (5.7)$$

где R – расстояние от точки взрыва до исследуемого объекта; эффективная масса $Q_{ef} = (1-\varepsilon)\alpha M_{ex}$,

ε — доля энергии взрыва, затрачиваемая на образование воронки (для скальных пород ε = 0,05; для мягких грунтов ε = 0,2; если взрыв происходит в воздухе без образования воронки, ε = 0);

α — отношение удельной энергии взрыва взрывчатого вещества к удельной энергии тротила.

Избыточное давление на фронте ВУХ равно:

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

$$\Delta p_f = \begin{cases} \left(\frac{0.92}{\bar{R}} + \frac{3.5}{\bar{R}^2} + \frac{10.6}{\bar{R}^3}\right) при\, 1.2 \le \bar{R} < 17.8\, м/кг^{1/3} \\ 4.2\bar{R}^{-1.45}\, м/кг^{1/3}\, при\, 17,8 \le \bar{R} < 1000\, м/кг^{1/3} \end{cases}. \quad (5.8)$$

Приведенные формулы применимы, если $R > 3$ м. На образование ВУХ влияет также то, является ли взрыв воздушным или наземным, форма заряда ВР, его заглубление в грунт перед взрывом.

Продолжительность фазы сжатия τ, в секундах, при этом равна

$$\tau_+ = \begin{cases} 1.7 \cdot 10^{-3} \sqrt[3]{Q_{ef}} \sqrt{\bar{R}}\ при\, 1.2 \le \bar{R} < 10\, м/кг^{1/3} \\ 6.594 \cdot 10^{-3} \sqrt[3]{Q_{ef}} \left[\lg(0.4\bar{R})\right]^{0.4}\ при\, 10 \le \bar{R} < 1000\, м/кг^{1/3} \end{cases}. \quad (5.9)$$

Поскольку продолжительность действия ВУХ при детонационных взрывах обычно крайне мала, колебания и прочность конструкций можно определять с помощью теоремы импульсов [10], для чего используется удельный импульс фазы сжатия i_+, который численно равен площади под кривой давления в этой фазе (рис. 5.7). При $12 \le \bar{R} < 1000$ *м/кг*$^{1/3}$

$$i_+ = 350 \frac{\sqrt[3]{Q_{ef}}}{\bar{R}}, \text{ Па·с}. \quad (5.10)$$

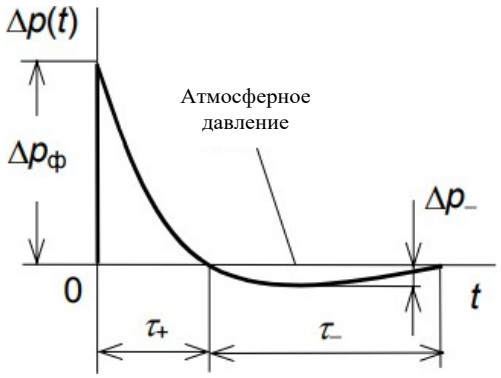


Рис. 5.7. Параметры времени и давления детонационной ВУХ в воздухе [10]

Распределение в фазе τ_+ может быть упрощенно принято за треугольный закон. Отрицательная фаза τ_-, как правило, менее разрушительна для массивных инженерных защитных конструкций, поэтому может не учитываться.

Для более точных расчетов в настоящее время широко используются зависимости, в частности известные как формулы Кингерри-Булмаша [11].

На основе параметров взрыва можно говорить об устойчивости сооружения к воздействию ВУХ. Справочно, номограмма для оценки повреждений обычных зданий от давления и импульса ВУХ показана на рис. 5.8. Точные специальные расчеты для инженерных защитных сооружений следует проводить с учетом собственных частот колебаний и динамического отклика конструкций (метод единичной степени свободы и др.) [10]; здесь они не приводятся в связи с ограниченным объемом книги.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

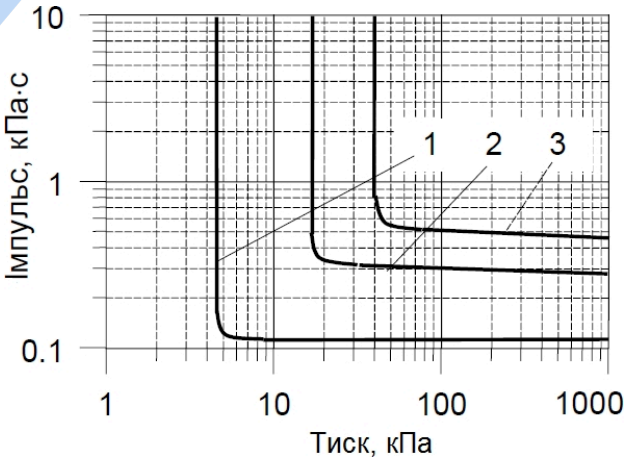


Рис. 5.8. Номограмма для оценки повреждений зданий: 1 — предел минимальных разрушений; 2 — предел значительных повреждений; 3 — разрушение зданий (разрушено 50÷70 % стен) [10]

Прогибы и смещения основных несущих конструкций. Как отмечалось ранее, при расчетах на аварийные сочетания и на живучесть ограничения по II предельному состоянию согласно ДБН В.1.2-2 — колебания, прогибы и смещения — допускается не учитывать, но они всё равно могут ограничиваться с точки зрения геометрической нелинейности и функционирования критического оборудования, либо же согласно ДСТУ Б.В.1.2-3 без учёта эстетико-психологических факторов.

Расчет проникающего действия и осколочного поражения. Скорость разлета осколков во время взрыва может быть принята по формуле [21]:

$$V_p = 0{,}5D\sqrt{\varphi_1 \alpha / (2 + \alpha / \varphi)}\,, \qquad (5.10)$$

где параметр $\alpha = m_{вр} / m_м$ зависит от $m_{вр}$ – массы взрывчатого вещества БЧ;

$m_м$ – масса металла корпуса БЧ;

φ – коэффициент, учитывающий форму БЧ, равный 3,33 для сферической, 4 для цилиндрической и 6 для плоской формы;

$\varphi_1 = 0{,}8..0{,}9$ – коэффициент, учитывающий потери энергии, которые идут на разрушение оболочки или на прорыв продуктов детонации в зазоры и передаются осколками в воздух в момент разлета.

D – скорость детонации взрывчатого вещества.

При расчетах следует учитывать наличие как первичных, так и вторичных обломков от конструкций и защитных элементов.

Если рассчитывается проникающая способность самой ракеты или другого снаряда, то берется их конечная скорость в момент попадания в цель, которая обычно значительно ниже максимальной, заявленной в технических характеристиках.

Скорость движения условного снаряда и скорость движения обломков в фронтальной ВУХ допускается не учитывать, так как снаряд движется существенно медленнее по отношению к обломкам, а момент взрыва обычно соответствует фактической остановке снаряда в момент инициирования заряда при столкновении с препятствием. Для сверхзвуковых скоростей попадания, когда скорость

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН

боеприпаса V_c превышает скорость звука материала препятствия, можно применить следующую формулу глубины проникновения в материал [6]:

$$h = \frac{l_0}{2\chi_0}\frac{\rho_{02}}{\rho_{01}}\ln\left(1+\chi_0\frac{\rho_{01}V_c^2}{H}\right) \qquad (5.11)$$

где χ_0 – коэффициент формы головной части снаряда, для конической головной части $\chi_0 = \sin^2 d$ (где d – угол конусности), а для снаряда с оживающей головной частью $\chi_0 = \left(8(R/d)-1\right)/\left(24(R/d)^2\right)$;

R — радиус оживалки;

d – калибр снаряда;

H – динамическая твёрдость материала препятствия.

l_o – длина снаряда.

Параметры ρ_{01} , ρ_{02} в формуле (5.11) – соответственно плотность материала препятствия и оболочки снаряда.

Приблизительные инженерные расчеты. Такие расчеты выполняются в качестве предварительных для качественной оценки поражающей способности боеголовки ЗПН при подрыве на поверхности или при погружении боеголовки в защитную массивную однородную конструкцию. Масса контактного заряда, необходимая для взрыва кирпичных, каменных, бетонных и железобетонных конструкций типа колонн, столбов, балок и т. п. (если их ширина не превышает удвоенную толщину), рассчитывается по формуле [11]:

$$C = ABR^3 \text{ ,} \qquad (5.12)$$

где C — масса заряда в килограммах;

A — коэффициент, зависящий от свойств взрываемого материала и типа ВР;

B — коэффициент, зависящий от расположения заряда;

R — необходимый радиус разрушения в метрах.

Значения коэффициентов A и B приведены в табл. 5.4, 5.5 ниже.

Таблица 5.4

Значения коэффициента прочности материала A

Наименование материала	Значение A	Примечание
Бетон: строительный	1,50	
фортификационный	1,80	
Железобетон: для выбивания бетона	5,00	Арматура не перебивается
для выбивания бетона с частичным перебиванием арматуры	20,0	Перебиваются прутья, расположенные ближе всего к зарядам

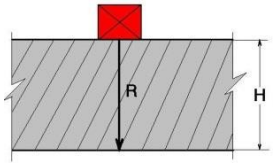
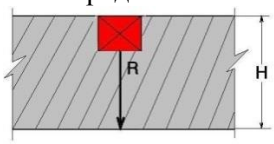
Сосредоточенные контактные заряды для пробивания отдельных отверстий в плитах, стенах и подобных конструкциях из кирпича, камня, бетона и железобетона рассчитывают по формуле (5.12) с увеличением в два–три раза.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

Таблица 5.5

Значения коэффициента расположения заряда B

Схемы расположения и наименования зарядов	Значения коэффициента *B*		Расчетная величина радиуса разрушения
	без забивки	с забивкой	
Внешний заряд 	9,0	5,0 (для железобетона 6,5)	$R = H$
Заряд в нише 	5,0	3,5	$R = H$

Пример расчета выбивания бетона с частичным перебиванием арматуры от заряда БЧ ЗПН типа ракеты.

Рассчитываем выбивание бетона с частичным перебиванием арматуры при ракетном поражении противником железобетонного «матраса» защитного сооружения.

Приняв толщину плиты 1,75 м (в качестве запаса надежности — без бетонной подготовки и возможного увеличения толщины бетона сверху для создания уклонов водоотвода), получаем: R = 1,75; A = 20 для случая с частичным перебиванием арматуры (необходимым для проникновения ракеты вглубь); коэффициент B = 9, поскольку даже в случае проникновения ракеты на расчетную глубину центр заряда проникающей БГ, как правило, остается выше поверхности бетона. Следовательно, $C = 20 \cdot 9 \cdot 1{,}75^3$ = **964,7 кг.**

У ракеты Х-22 тип ВР в БЧ — это ТГАГ-5, сплав из тротила — 60%; гексогена — 24%; алюминиевого порошка и пудры — 16%; головакса (флегматизатора) — 5% сверх 100%. Тротиловый эквивалент ТГАГ-5 приблизительно равен $K_Т$ = 0,6·1+0,4·1,35 = 1,14 [13].

Полученный результат намного превышает массу ВР в самой большой ракете Х-22, которая в пересчете на тротиловый эквивалент составляет C = 630·1,14 = 718,2 кг. Следовательно, пробивания арматуры не происходит.

Важно также отметить, что даже при частичном пробивании верхней арматуры (вариант, когда проникающая БГ полностью погружается в «матрас»), железобетонная плита с многоуровневой, а особенно с фиброарматурой, будет сохранять целостность и не допустит пробивания до распределительного слоя грунта и ниже.

Углубление (воронка) при взрыве заряда. При взрыве заряда на поверхности сооружения образуется углубление, глубину которого рассчитывают по формуле:

$$h = K_в \sqrt[3]{G_e} - h_0$$

где h_0 — расстояние от центра заряда до поверхности среды;

$K_в$ – коэффициент выброса, значения которого для различных сред приведены в табл. 5.6.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

Таблица 5.6

Численные значения коэффициента $K_в$

Материалы барьера	$K_в$, м/кг$^{1/3}$
Бутобетон	0,18
Бетон марки 300 и бутобетон с гранитным камнем	0,16
Бетон марки 400 на гранитном щебне	0,16
Железобетон, изготовленный из бетона марки 300	0,14
Фортификационный железобетон из бетона марок 400, 500, 600	0,13

Значение $h_0 = 0$, если заряд находится на поверхности. Следовательно, глубина заглубления $h = K_в \sqrt[3]{G_э} - h_0 = 0{,}13 \cdot (630 \cdot 0{,}14)^{1/3} = 1{,}164$ м. Полученные данные коррелируют с имеющимися данными РФ о максимальном пробивании бетона соответствующими ЗПН (наиболее близкими к ракете «Искандер-М»), табл. 5.7. Заглубление от взрыва следует отличать от начального механического погружения ракеты в защитный железобетонный «матрас» в случае попадания БЧ с задержкой, которое рассматривалось выше.

Таблица 5.7

Имеющиеся справочные данные по пробиванию бетона для различных ЗПН

ЗПН	Х-29	«Искандер-М»	БЕТАБ-500	КАБ-500КР	КАБ-500Л
Ориентировочная глубина пробивания бетона, м	1	1,2	1	1,5	1,5

5.4. Общие положения по проектированию и проведению расчетов отдельных элементов защиты

Общие конструктивные рекомендации по проектированию каркасов защитных инженерных сооружений включают в себя следующие положения.

Железобетонные и сталежелезобетонные элементы армируют не менее чем тремя сетками со смещенными шагами стержней. Рекомендуется применять жесткую арматуру, сталежелезобетонные и сталебетонные решения. Также рекомендуется повышать связность и прочность лобовой толщи железобетонных защитных конструкций за счет использования фибробетона, облицовки каменным материалом и т. п.

В железобетонных и сталежелезобетонных элементах следует предусматривать с внутренней стороны противооткольный слой в виде металлических сеток с мелкой ячейкой или в виде сплошных металлических листов, профилей, специальных полимерных покрытий, способных задерживать отколы фрагментов бетона.

Для предотвращения возникновения и воздействия факторов поражения на сооружения должны быть приняты все меры физической, инженерной пассивной и активной защиты. Наиболее эффективным является максимальное удаление и снижение вероятности поражения объекта. В необходимых случаях рекомендуется применять теорию рисков. Окончательный выбор оптимальной конструктивной системы сооружения

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

должен осуществляться с учётом факторов оценки жизненного цикла (см. раздел 6). Существующие защитные сооружения подлежат оценке технического состояния и физической пригодности, а в случае принятия соответствующего решения — реконструкции и усилению с применением эффективных рамных стальных, сталежелезобетонных конструкций с засыпкой грунтом.

Формы сооружений и их элементов должны быть снаружи как можно более обтекаемыми для взрывных волн. Рекомендуется применять многосвязные конструктивные схемы каркасов для перераспределения усилий в случае разрушения, проектировать элементы и соединения с преимущественно пластическим типом разрушения; использовать специальную сталь повышенной прочности, но с обеспечением пластического разрушения.

Сечения колонн рекомендуется преимущественно выбирать равноустойчивыми с двумя осями симметрии при условии учета изменения направления усилий в случае аварийной ситуации; увеличивать сечения несущих конструкций, которые могут воспринимать дополнительные усилия в случае наступления аварий. Рекомендуется также предусматривать знакоизменяющие разнонаправленные воздействия в соединениях, предусматривать меры по снижению коэффициента опасности и защите от повреждения основных элементов и деталей соединений. Элементы перекрытий рекомендуется проектировать неразрезными, многоэлементными, надежно закрепленными на опорах; предусматривать в каркасе дополнительные связки, способные воспринимать, перераспределять и обезвреживать аварийные воздействия. Соединения и элементы следует устраивать с контролируемыми местами образования шарниров пластичности в случае аварий. Рекомендуется применять комбинированные несущие системы с устройством сталежелезобетонных пилонов в наиболее опасных для прогрессирующего разрушения зонах; отдавать предпочтение конструктивным решениям перекрытий и покрытий в виде неразрезных монолитных плит на профилированном настиле размерами на весь этаж, которые совместно (композитно) работают со стальными балками с помощью специальных упоров. Следует обеспечивать надежность и многосвязность систем.

Для снижения давления воздушной ВУХ в местах устройства просветов целесообразно применять частично-проницаемые экраны (ЧПЭ) и специальные устройства.

Защита ОКИ с помощью ЧПЕ. Как отмечалось выше, при обтекании ВУХ небольшого препятствия за ним образуется область, где давление ниже, чем в падающей волне. Но уже на небольшом расстоянии за препятствием фронт ВУХ снова сходится, и давление восстанавливается. Поэтому небольшое препятствие (невысокая стенка, мешки с песком и т. п.) может обеспечить защиту от ВУХ только непосредственно за ним. Наилучшим решением является сплошное закрытие контура сооружения. Однако, если просветов (проходов, технологических отверстий и т. п.) невозможно избежать, в них можно применять защитные ЧПЕ. Такое решение позволяет уменьшить давление и импульс ВУХ, термическое воздействие взрыва и предотвратить попадание осколков в негерметичные сооружения [10].

В настоящее время для военной защиты техники и сооружений уже широко применяется разнесенная броня [14; 15]. Также широко используются

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

перфорированные экраны [16; 17]. Для защиты элементов ОКИ экраны со сквозными просветами не могут быть использованы, поскольку оставляют вероятность осколочного поражения элемента ОКИ.

Следовательно, ЧПЕ должны быть непроницаемыми для осколков, но проницаемыми для части давления ВУХ, уменьшая его. ЧПЕ являются наиболее эффективными для сооружений, в которых технологически обусловлена необходимость больших просветов для самотечного проветривания. За счёт лёгкости и компактности их можно применять в качестве створок дверей и ворот.

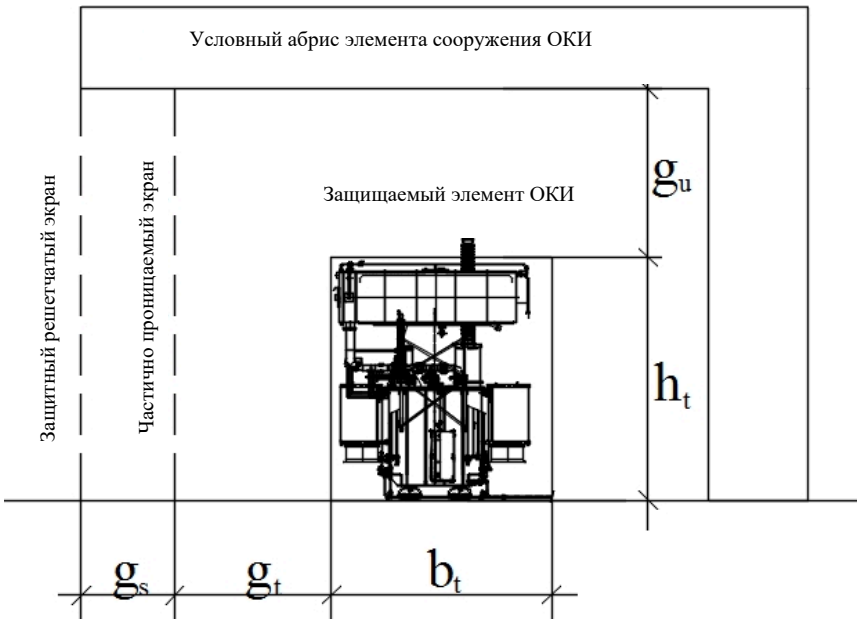


Рис. 5.9. Компоновочная схема защиты элемента ОКИ с помощью ЧПЕ

На рис. 5.9 схематически показана модель сооружения второго уровня инженерной защиты.

Первый защитный предетонационный экран предназначен для остановки и последующего разрушения или преждевременной инициации БЧ БПЛА. В резерв надежности и с учетом неопределенности этот экран не учитывается как уменьшающий давление ВУХ или задерживающий осколки.

Второй экран — частично проницаем для ВУХ, однако должен снизить её давление, а также задержать осколки.

В целях экономичности при применении ЧПЕ можно использовать резистивные свойства элементов ОКИ, то есть пиковое давление p_u , которое они способны выдерживать без полного разрушения [10], табл. 5.8.

Дополнительные, более подробные данные о зданиях содержатся в нормах США [19], выдержки из которых приведены в табл. 5.9.

ОКИ энергетической отрасли представляют собой комплексные системы с обширной номенклатурой разнообразных зданий, сооружений, элементов и оборудования. Если взять за критический элемент электротрансформаторы, которые являются одной из наиболее вероятных целей противника, пиковое значение избыточного давления для них составляет p_u = 70 кПа.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

Таблица 5.8

Резистивные свойства элементов ОКИ

Оборудование, приборы, конструктивные элементы зданий и сооружений	Пиковое значение избыточного давления p_u , кПа
Мачты, антенны, молниеотводы, высоковольтные линии	35
Воздушные опоры электросетей и связи	**50**
Металлические эстакады для трубопроводов	60
Железобетонные эстакады для трубопроводов	70
Эстакады для электросетей	**50**
Эстакады для кабелей, проводов	35
Железобетонные градирни	60
Кирпичные и железобетонные дымоходы	60
Металлические дымоходы	52
Емкости для хранения жидкостей цилиндрические	31
Емкости для хранения жидкостей сферические	90
Подземные трубопроводы	200
Наземные (наружные) трубопроводы	60
Кабельные каналы в грунте	100
Воздуховоды, подъемно-транспортное оборудование	35
Электродвигатели	170
Электрические щиты. Понижающие трансформаторы	**70**
Автоматика и вычислительная техника	15,4
Автоматика и оборудование для пожаротушения	40
Перегородки и кровля кирпичных зданий	15,4
Перегородки и кровля железобетонных зданий	17
Мягкая кровля	15,4
Перекрытия промышленных кирпичных зданий	28
Перекрытия промышленных зданий со стальным и железобетонным каркасом	30
Перекрытия промышленных зданий с массивными стенами	42
Полы	28
Стены шлакоблочных зданий	22
Стены деревянных зданий	28
Стены кирпичных зданий толщиной 1,5 кирпича	25
Стены кирпичных зданий толщиной 2 кирпича	45
Стены кирпичных зданий толщиной 2,5 кирпича	53
Ленточные фундаменты жилых домов	400
Фундаменты с монолитными колоннами каркаса	215
Лестницы	28
Отделочные и прочие работы	15,4
Теплоизоляция трубопроводов	20
Механизмы открывания отверстий	7
Остекление с стеклами размером более 1×1 м	3,5
Остекление с стеклами размером менее 1×1 м	7
Внутренние сантехнические работы	28
Внутренние электротехнические работы	15,4
Планировка площадки, покрытие	400

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

Каждый ЧПЕ уменьшает давление ВУХ на пути её распространения на разницу Δp_i . Следовательно, основное условие сохранности элемента ОКИ при использования ЧПЕ может быть записано в виде неравенства:

$$\Delta p_f - \sum_{i=1}^{k} \Delta p_i - \Delta p_{gt} \le p_u \ , \qquad (5.13)$$

где p_f – начальное давление на ЧПЕ со стороны взрыва,

k — количество ЧПЕ (обычно один или два).

Таблица 5.9

Пиковое значение избыточного давления

Предельное состояние элемента	Начало повреждения, p_d кПа	Отказ, p_u кПа
Блок наддува лестницы	12,76..15,86	19,1..24,06
Противопожарные двери	8,07	12,13
Двери лифтов	14,48	22,75
Контрольная панель пожарной сигнализации	2,34	3,72
Люминесцентные лампы	-	6,27
Система воздуховодов	0,008…1,24	0,12…1,86
Аварийный генератор	45,30	57,57
Система дымовой сигнализации	45,30	57,57
Система спринклерного пожаротушения	0,76	1,31
Окна	Заклинка 6,89	Разрушение 10,34

Избыточное пиковое давлен на фронте ВУХ без помех равно [20]:

$$\Delta p_f = \left(\frac{0.92}{\bar{R}} + \frac{3.5}{\bar{R}^2} + \frac{10.6}{\bar{R}^3} \right) \text{ при } 1.2 \le \bar{R} \le 17.8 \, ; \qquad (5.14)$$

$$\Delta p_f = 4.2\bar{R}^{-1.45} \text{ при } 17.8 \le \bar{R} \le 1000 \, . \qquad (5.15)$$

где R — приведенное расстояние:

$$\bar{R} = \frac{R}{\sqrt[3]{Q_{ef}}} \qquad (5.16)$$

где R — удаленность точки взрыва от исследуемого объекта, эффективная масса $Q_{ef} = (1-\varepsilon)\alpha M_{ex}$,

ε — доля энергии взрыва, затрачиваемая на образование воронки (для скальных пород ε = 0,05; для мягких грунтов ε = 0,2; если взрыв произошел в воздухе без образования воронки, $\varepsilon = 0$);

α – отношение удельной энергии взрыва ВР к удельной энергии тротила (ТНТ).

В данном исследовании рассматриваем воздушный взрыв, так как в худшем случае БПЛА попадает в середину задерживающего экрана.

Δp_{gt} – падение давления, происходящее в воздушном зазоре между ЧПЕ и собственно элементом ОКИ, так как экран не располагается вплотную, а всегда имеет технологический зазор.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

При детонационном взрыве ВР максимальное избыточное пиковое давление сразу за экраном на расстоянии R от центра взрыва рассчитывают по эмпирической формуле [10]

$$\Delta p = 1410\bar{R}^{-1.66}\left(\frac{R}{x}\right)\alpha^{0.64} \qquad (5.17)$$

где R — приведенное расстояние, которое вычисляется по формуле выше;

x – характерный размер экрана (его можно принять равным квадратному корню из площади);

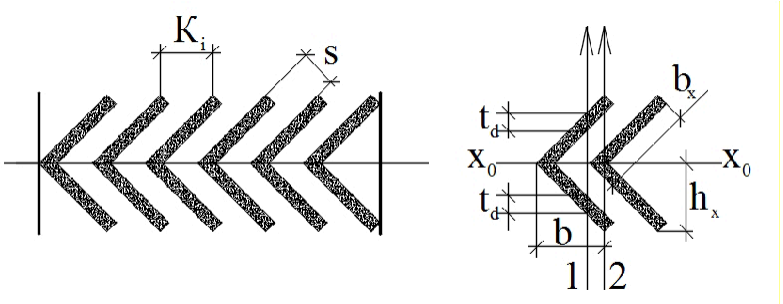
α – коэффициент проницаемости экрана.

Формула (5.17) справедлива, если коэффициенты находятся в следующих пределах:

$$0{,}01 \le \alpha \le 0{,}13;\ 0{,}69 \le (R/x) \le 4{,}55;\ 1{,}16 \le R \le 8{,}45 \text{ м/кг}^{1/3}. \qquad (5.18)$$

Ограничения на применение формул также являются активными ограничениями модели.

ЧПЕ обычно изготавливают из плотно расположенных металлических конструкций, в которых оставляют зазоры для прохождения ВУХ. В данной работе рассматриваются ЧПЕ из вертикальных, последовательно расположенных уголков, которые являются наиболее экономичными и простыми в изготовлении (рис. 5.10).



а *б*

Рис. 5.10. Схема ЧПЕ из стальных уголков: *а* – геометрическая компоновка сечения экрана, *б* – схема возможного проникновения осколков

Для схемы на рис. 5.10, *а*, коэффициент проникновения $\alpha = \frac{A_s}{A_w}$ где A_w – площадь стены, в которую вмонтирован экран; A_s – площадь экранирующих элементов. Если экран одинарный, то его коэффициент проникновения α равен отношению проницаемой поверхности к поверхности стены или кровли, в которой он установлен. При последовательной установке k экранов с коэффициентами проникновения $\alpha_{\substack{i \\ k}}$, суммарный коэффициент проникновения α_Σ вычисляется по формуле $\alpha_\Sigma = \sum_{i=1} \alpha_i$. В данном исследовании рассматривается один экран как технологически наиболее простой вариант.

Другим фактором поражения являются осколки от взрыва БЧ ЗПН. Скорость разлета осколков во время взрыва [21] может быть рассчитана по формуле (5.10), а масса металла корпуса боевой части «Shahed-136» и эффективная масса ВР в пересчете на тротиловый эквивалент — известны. Коэффициент φ,

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

учитывающий форму БЧ, равен 3,33 для сферической, 4 — для цилиндрической и 6 — для плоской формы. Считаем, что БЧ БПЛА имеет цилиндрическую форму.

Коэффициент φ_1 = 0,8..0,9 учитывает потери энергии, которая уходит на разрушение оболочки или на прорыв продуктов детонации в зазор и передаётся осколкам в момент разлета; можно принять значение 0,9, так как оболочка БЧ нетолстая (около 7 мм, см. выше). Параметр D — скорость детонации ВР,

$D = 340\sqrt{1 + 8{,}3\Delta p_f}$. Скорость движения БПЛА по отношению к скорости движения осколков в

фронтальной ВУХ можно не учитывать, так как БПЛА движется медленно относительно осколков, а момент взрыва вообще соответствует фактической остановке планера в момент инициирования заряда при ударе о препятствие. В зависимости от скорости столкновения материалы проявляют различные свои свойства (табл. 5.10) [21].

Таблица 5.10

Свойства (поведение) материала в зависимости от скорости столкновения

Скорость скорость столкновения, м/с	Свойства (поведение) материала
<50	Преобладают упругие деформации. Возможно появление зон локализации
50…500	Преобладают пластические деформации
500…1000	Проявление вязко-пластических и вязких свойств. Прочность материала остаётся существенной
1000…3000	Гидродинамическое поведение твёрдых тел. Определяющим фактором является плотность
3000…12000	Необходимо учитывать сжимаемость материалов
>12 000	Испарение материала

Для выбранных условий D = 2000…3000 м/с; V_p = 1000…2000 м/с. Следовательно, определяющим фактором будет плотность материалов. Необходимо выяснить проникающую способность осколков. Как было отмечено выше, для сверхзвуковых скоростей попадания, когда скорость боеприпаса V_c превышает скорость звука материала препятствия, глубина t_p проникновения боеприпаса в материал препятствия рассчитывается по формуле (5.11) [6].

Осколки при разрушении БПЛА, вероятно, не будут иметь строгих форм. Однако в первом приближении можно принять аналогию с боеприпасом с конической головной частью и углом конусности $\mu = 45^0$. Тогда χ_0 = 0,5. ρ_{01}, ρ_{02} – соответственно плотность материала препятствия и конструкции

боеприпаса (БОГ БПЛА). Плотность материала препятствия — стальных уголков, ρ_{02} = 7850 кг/м³. H — динамическая твёрдость материала препятствия, приблизительно можно принять за твёрдость стали 09Г2С, H = 450..490 МПа, в среднем 470 МПа. Параметр l_o— длина боеприпаса. Судя по исследованию мест попаданий, осколки БЧ «Shahed-136» могут достигать 9 см в длину (см. раздел 2 выше). Однако по расчетам при проектировании боеприпасов можно приблизительно принять, что средняя длина осколков составляет до 3 см, l_o = 0,03 м.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

Наиболее опасным является попадание осколка в экран по нормали к поверхности препятствия. Принятая компоновка ЧПЕ из уголков (рис. 5.9, *б*) обусловливает пробитие осколком как минимум двух полок уголка, с суммарной толщиной $2t_d = 2\ 2t = 2{,}83t$, где t – толщина полки уголка. Следовательно, условие непробивания двух экранов 1 и 2 осколком во время взрыва БЧ БПЛА будет иметь вид:

$$2{,}83(t_1 + t_2) \geq t_p \qquad (5.19)$$

Геометрические характеристики прокатных угольников в целом могут быть приняты из [22].

Шаг элементов на экране K_i при условии непроникновения осколков должен составлять не более $b - t_d$, но не менее 5 см при технологических условиях сварки [23]: $K_i \leq (b - t_d)$; $K_i \geq 5$ см.

Каждый экран должен выдерживать на прочность ту разницу давлений, на которую уменьшается ВУХ. С существенным запасом надежности пиковое давление примем как квазистатическое предельное при аварийном сочетании. Поскольку угольник по схеме на рис. 5.9 в экране располагается в нетривиальном положении относительно главных геометрических осей сечения, были рассчитаны моменты сопротивления для сортамента ДСТУ 2251:2018 по формуле

$$W_{x0} = \frac{I_{x0}}{h_x} = \frac{I_{x0}}{0.71b_x},$$

где b_x – ширина полки угла.

Также были вычислены статические моменты по формуле

$$S_{x0} = \frac{A}{h_x}$$

ВУХ действует на проекцию каждого угла, ширина которой $d_x = 0{,}71b_x$. Тогда линейно распределенная нагрузка на один уголок составляет $p_{x0} = \Delta p \cdot b$.

Изгибающий момент в углу при шарнирном креплении равен $M_{x0} = \frac{p_{x0}L^2}{8}$, поперечная сила равна $Q_{x0} = \frac{p_{x0}L}{2}$, где L — высота элемента экрана, или же расстояние между точками крепления. Условия прочности стального уголка могут быть приняты при изгибе и поперечной силе как для элемента первого класса сечения согласно [23], рассматривается только упругая работа. Таким образом, условием неразрушения каждого элемента экрана является соблюдение неравенств:

$$\frac{M_{x0}}{W_{x0}R_y\gamma_c} \leq 1\ ;\ \frac{Q_{x0}S_{x0}}{I_{x0}tR_s\gamma_c} \leq 1 \qquad (5.20)$$

где I_{x0} – момент инерции;

γ_c – коэффициент условий эксплуатации;

R_y – расчетное сопротивление стали за пределом текучести при изгибе;

R_s – соответственно расчетное сопротивление стали за пределом текучести при сдвиге.

На основании методики расчета ЧПЕ можно определить их оптимальные параметры для различных исходных условий. Для этого следует решить

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

задачу оптимального проектирования ЧПЕ. При этом среди всех альтернатив производится выбор оптимальной по решающему правилу из множества альтернативн S, по которой может быть принят сортамент равнобоковых прокатных ых углов:

$$r : \mathrm{S}^* = \arg \min_{x \in S} K_{j^*} \left(q_1(x), q_2(x), \ldots, q_p(x) \right) . \quad (5.21)$$

Целевая функция на начальном этапе может быть записана в виде выражения массы элементов экрана на 1 погонный метр:

$$\mathrm{m}^* = \sum_{i=1}^{k1} \rho_i \; L_i \, n_i \to \min . \quad (5.22)$$

Условия сохранности элемента ОКИ, ограничения применения формул, сохранность экранов и их непроницаемость для осколков — образуют систему активных ограничений математической модели защиты элементов ОКИ с помощью ЧПЭ. Такая задача относится к задачам дискретной оптимизации сильно нелинейных, частично сепарабельных функций [24; 25]. Для подобного класса задач может быть применен метод эволюционного поиска. В данном случае применим решатель (компьютерный математический аппарат-решатель), разработанный компанией Frontline Systems, Inc. (США) для среды Microsoft Excel, который использует различные генетические алгоритмы и методы локального поиска [26].

Общий габарит системы защиты регламентируется параметрами элемента ОКИ; считаем, что максимальное расстояние от предвзрывного препятствия до ЧПЕ составляет не более 7 м, что соответствует практическим ограничениям технологии. Нижняя граница составила 3...4 м в результате подбора сечений. Минимальный технологический зазор от элемента до ЧПЕ изнутри принимаем равным 3...5 м, исходя из усредненных данных, предоставленных операторами объектов энергетики. Сталь для уголков выбираем 09Г2С (С345). Стандартный размер просвета, заполненного ЧПЕ, имеет квадратную форму с набором размеров с шагом 1 м: 3×3, 4×4, 5×5, 6×6, 7×7 м.

Переменным параметром в алгоритмической целевой функции является номер сечения угольника ЧПЕ. Результаты поиска оптимальных решений для заданных условий представлены в табл. 5.11 и на рис. 5.11.

Выводы и обсуждение. Как видно из табл. 5.11 и графика на рис. 5.11, для выбранных исходных параметров оптимальными конструктивными решениями являются профили из достаточно узкой допустимой области сортамента. Решающими при подборе являются преимущественно факторы задержания осколков и конечное предельное давление на элемент ОКИ. То есть прочность профилей имеет преимущественно меньшее значение, чем геометрия профиля и расстояния от предетонационного экрана до ЧПЕ, и от ЧПЕ — до элемента ОКИ.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

Таблица 5.11

Результаты подбора сечений элементов ЧПЕ

№	Определяющий фактор	Расстояние от ЧПЕ до элемента, м	Остаточное давление на элемент ОКИ, кПа	Расстояние от взрыва БПЛА до ЧПЕ, м	Подобранное сечение	Размер экрана, м	Масса экрана на 1 м ширины, кг
1	Задержание осколков	3	53,78	7	140×140×11	4×4	657,72
	Давление		64,06	6	140×140×12		892,5
	Давление		68,68	5	180×180×16		1044,96
				4	Вне ассортимента		
2	Задержание осколков	4	49,62	7	140×140×11	4×4	657,72
	Задержка осколков, давление		58,13	6	140×140×12		714
	Давление		69,24	5	140×140×14		825,72
	Задержка осколков, давление		67,88	4	220×220×16		1076,6
				3	Вне ассортимента		
3	Задержание осколков	4	45,86	7	140×140×11	5×5	822,15
	Задержание осколков		53,72	6	140×140×12		956,98
	Задержка осколков, давление		63,99	5	140×140×14		1032,15
	Задержка осколков, давление		63,91	4	220×220×16		1345,75
				3	Вне ассортимента		
4	Задержание осколков	5	42,16	7	140×140×11	5×5	822,15
	Задержание осколков		48,71	6	140×140×12		892,5
	Задержка осколков, давление		57,06	5	140×140×14		1032,15
	Задержка осколков, давление		67,96	4	140×140×16		1169,7
	Задержка осколков, давление		64,35	3	250×250×18		1721,5
				2	Вне ассортимента		
5	Задержание осколков	5	40,26	7	140×140×11	6×6	986,58
	Задержание осколков		46,52	6	140×140×12		1071
	Задержка осколков, давление		54,49	5	140×140×14		1238,58
	Задержка осколков, давление		64,90	4	140×140×16		1403,64
	Задержка осколков, давление		67,34	3	200×200×18		1958,4
				2	Вне ассортимента		

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

6	Задержание осколков	5	38,70	7	140×140×11	7×7	1151,01
	Задержание осколков		44,72	6	140×140×12		1249,5
	Задержание осколков		52,38	5	140×140×14		1445,01
	Задержка осколков, давление		62,40	4	140×140×16		1637,58
	Задержка осколков, давление		67,51	3	180×180×18		2992,91

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

Полученная таблица позволяет подобрать оптимальное решение ЧПЭ для защиты элементов ОКИ с предельным значением допустимого пикового давления $p_u = 70$ кПа (или ниже, но решение уже будет допустимым, а не оптимальным). При отсутствии какого-либо из типоразмеров угловых профилей на металлобазах в ходе реализации решений они могут быть изготовлены сварными из стальных листов.

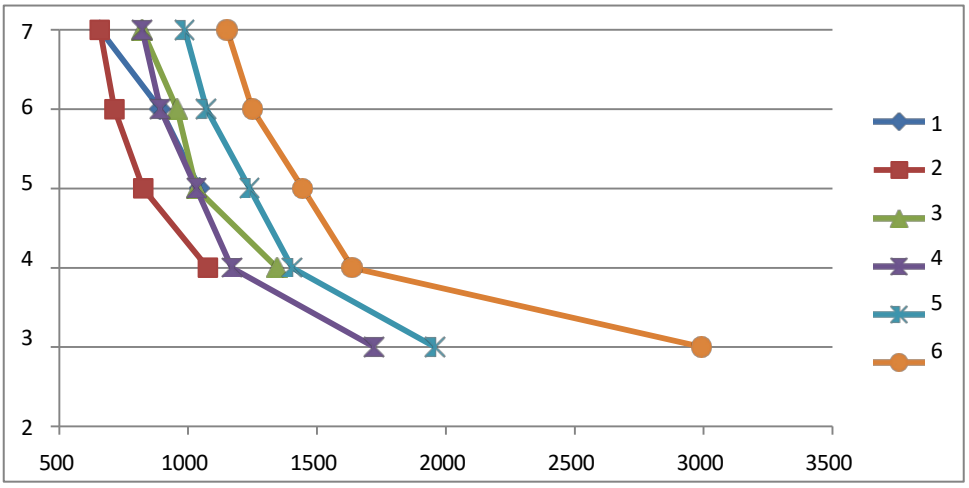


Рис. 5.11. Графическое изображение результатов дискретного поиска оптимального решения в исследуемой области (номера соответствуют первому столбцу табл. 5.11)

В данной работе рассмотрен случай, когда ЧПЕ является частью защитного сооружения в месте большого проёма, например, для устройства ворот или для проветривания. Однако отдельно в дальнейшем могут быть рассмотрены и сооружения, полностью состоящие из металлоконструкций ЧПЕ. Такое решение целесообразно прежде всего для небольших по габаритам элементов ОКИ. Для значительных по размерам элементов ОКИ необходимо устройство самостоятельных несущих конструкций, на которых будут закреплены экраны (каркасы, рамы и т. п.). Также следует учитывать, что приведенные выше расчеты действительны только при тандемном использовании экрана-задержателя БПЛА (который обычно изготавливается в виде решетчатых конструкций из двутавров, труб или канатов, см. раздел 2) и, собственно, ЧПЕ.

Также важное значение имеет давление, которое способен выдерживать самостоятельно элемент ОКИ без нарушения функциональности. Чувствительные элементы следует защищать не с помощью ЧПЕ, а сплошными сооружениями типа «шелтер» или посредством заглубленного, подземного расположения, то есть защиты третьего уровня.

ЧПЕ обладают преимуществами благодаря лёгкости, технологичности и скорости монтажа из готовых металлических конструкций. В зависимости от давления, которое может выдерживать сам элемент ОКИ (или с учетом возможности нахождения людей), будет меняться конфигурация ЧПЕ. Полученные результаты, как и данные об устойчивости элементов ОКИ, требуют экспериментальной проверки с помощью численных и/или натурных экспериментов, что важно для дальнейших исследований.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН

РАЗДЕЛ 6. ОЦЕНКА И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ОБЪЕКТОВ КРИТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

6.1. Технико-экономическое сравнение вариантов и принятие решений о выборе инженерной защиты для элементов объектов критической инфраструктуры

Выбор рационального или оптимального варианта защиты ОКИ от ЗПН является сложной задачей для лица, принимающего решение. Этот выбор обычно принимается в условиях ограниченного времени, ресурсов и информации. Основные вопросы, которые могут возникать в ходе выбора решений **инженерной защиты для элементов ОКИ от факторов поражения ЗПН**, следующие:

- Какой максимальный тип защиты для данного элемента ОКИ можно построить при имеющихся ресурсах за минимальное время?
- Какой тип защиты будет более выгодным с учётом рисков для данного элемента ОКИ?
- Как минимизировать потери от поражения элементов ОКИ ВПН с помощью комбинации систем защиты?

Две крайности, с которыми можно столкнуться при принятии решения ответственными за это лицами, — это попытка максимально защитить все элементы или иррациональное стремление свести к минимуму любую защиту (недоверие к инженерным системам и возложение всей ответственности за защиту ОКИ на системы ПВО). Бесспорно, хотя бы минимальная защита лучше, чем отсутствие защиты вообще. Однако хуже, чем опасность, — только иллюзия безопасности. Таким образом, перед лицом, принимающим решение, стоит задача кардинального выбора наилучшего варианта защиты из возможных, с учётом возможных потерь от поражения элементов ОКИ. При этом действенными инструментами оказываются методики управления рисками и оценки жизненного цикла, позволяющие определить приемлемое решение и донести его эффективность до лица, принимающего решение.

Управление риском — процесс принятия решений и осуществления мер, направленных на изменение риска [1]. Механизмы управления риском — это совокупность инструментов, методов, форм и средств взаимодействия субъектов управления рисками для разработки и реализации управленческих решений, направленных на предотвращение наступления рисков, уменьшение и преодоление последствий их воздействия. **Риск** — вероятность возникновения нежелательного события, умноженная на стоимость убытков от его наступления [2].

Проведение количественного анализа рисков помогает лицам, принимающим решения, разрабатывать стратегии экономически эффективного совершенствования систем [3]. Это предполагает выявление слабых мест системы и их соответствующую ранжировку [4], а адекватные данные позволяют лицу, принимающему решение, систематически анализировать риски через вероятности неудачи. Этот шаг является важным и имеет два основных аспекта: оценка риска

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
машинный перевод

и управление риском. Оценка риска сосредоточена на выявлении опасностей и количественном определении уровня риска [5]. С другой стороны, управление рисками предполагает совершенствование системы для минимизации выявленных рисков [6].

С точки зрения системного анализа, ОКИ как сложные системы, являющиеся элементами экономики страны, должны обладать статической и динамической устойчивостью. Статическую экономическую устойчивость определяют как способность системы продолжать функционировать после шока, тогда как динамическая экономическая устойчивость — это скорость, с которой система восстанавливается после шока для достижения желаемого состояния [6].

Оценку убытков можно проводить в зависимости от источников данных несколькими методами.

1. Прямой метод. Затраты могут быть установлены с помощью опроса операторов ОКИ, которые произвели расчеты потерь на основе замещения уничтоженных элементов и сметной стоимости их ремонта и других убытков. Такой метод является наиболее точным в отношении каждого конкретного объекта, однако с его помощью сложно оценить косвенные убытки и затраты ЖЦ за пределами ОКИ.

2. Метод аналогов обладает наибольшей точностью для подобных объектов, которые уже были восстановлены после поражения ЗПН противника, и представляет собой их полную сметную конечную стоимость по факту восстановления. В то же время косвенные затраты, как и при прямом методе, редко удается установить для аналогов даже постфактум. Кроме того, специфика и уникальность повреждений ОКИ в результате поражения ЗПН противника обусловливают то, что точные аналоги найти крайне сложно. К тому же восстановление происходит зачастую неравномерно и в разные сроки, с применением различного оборудования, что дает значительный диапазон значений затрат.

3. Метод численного моделирования позволяет определить стоимость на основе теоретических расчетов, обобщающих статистику повреждений, и необходимые ресурсы для их устранения. Модель может включать множество факторов, учитывая их с помощью специальных коэффициентов и т. п. Основным преимуществом численного метода является возможность смоделировать косвенные убытки и затраты ЖЦ за пределами ОКИ. Недостатком такого метода является ограниченная возможность учета сильно изменчивых факторов, влияющих на стоимость ЖЦ сооружений и оборудования ОКИ в ходе восстановления.

На практике часто применяют комбинированный подход, когда часть показателей берут по доступным данным, а часть — по аналогам или в результате моделирования. Также возможно проводить оценку вероятностей для определения и управления рисками.

Жизненный цикл объекта строительства (building life cycle) — это последовательные и взаимосвязанные этапы системы объекта строительства от добычи природных ресурсов и использования сырья до их окончательного возвращения в окружающую среду [7]. Каждое здание как система проходит цепочку**:** *сырье – материал – изделие – элемент – конструкция – здание*, которое впоследствии

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

подвергают реновации или заменяют, с последующим демонтажем и утилизацией [8]. Аварийное событие в ЖЦ приводит к дополнительным выбросам и непредвиденному привлечению ресурсов, снижает капитальность сооружения (рис. 6.1).

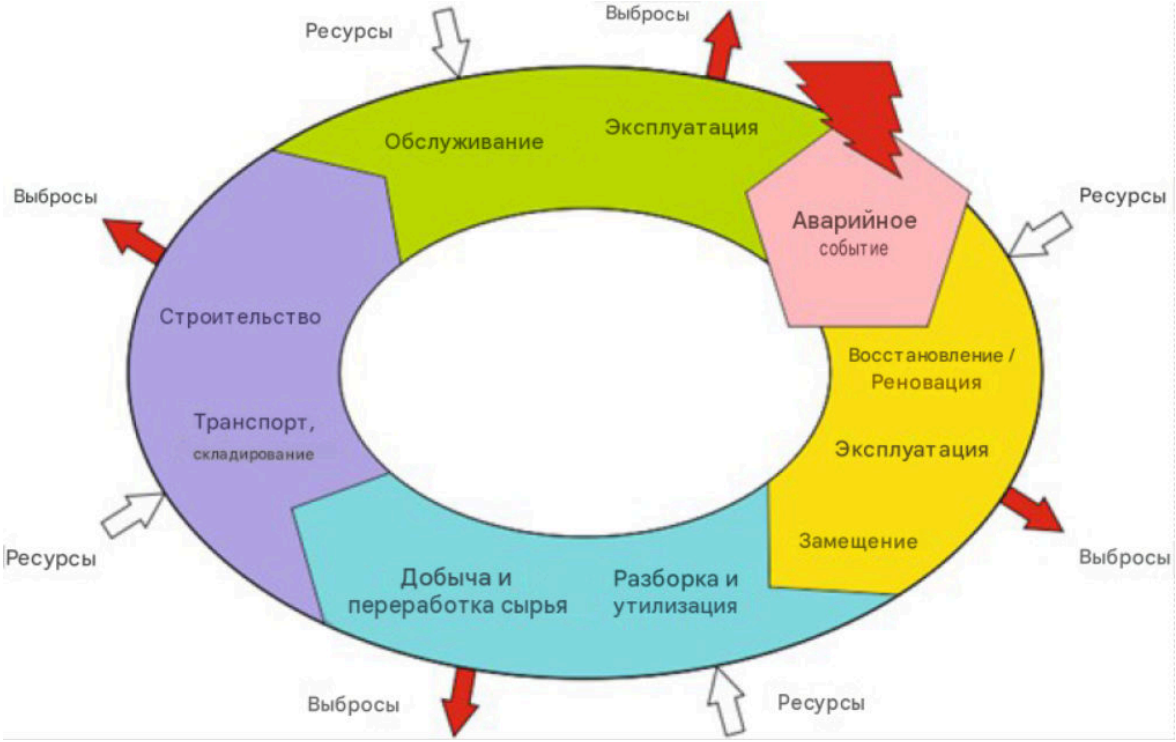


Рис. 6.1. Обобщенный жизненный цикл здания с учетом возможного аварийного события и восстановления

Документ ДСТУ ISO 14040 [9] определяет несколько этапа оценки жизненного цикла (Life Cycle Analysis, LCA, ОЖЦ):

Фаза I. Определение цели и сферы применения (Goal and scope definition);

Фаза II. Анализ инвентаризации жизненного цикла (Life cycle inventory, LCI, ИЖЦ);

Фаза III. Оценка воздействия жизненного цикла (Life cycle impact assessment, LCIA, ОВЖЦ);

Фаза IV. Интерпретация жизненного цикла (Life cycle interpretation).

Анализ жизненного цикла является составной частью более общего понятия «полного анализа жизненного цикла здания или сооружения» **(whole-building life-cycle assessment, WBLCA)**. Отдельно также определяют понятие «управление жизненным циклом» (Life Cycle Management, LCM) — это управление производственной системой с целью минимизации экологических и социально-экономических нагрузок, связанных с продуктом или ассортиментом продукции, на протяжении всего его ЖЦ и цепочки создания стоимости.

Повреждение, как аварийное событие в ЖЦ ОКИ, приводит к частичной или полной остановке его функционирования, требует времени и ресурсов на восстановление, создает выбросы в окружающую среду, снижает общую надёжность объекта вследствие скрытых дефектов, остающихся от повреждений ЗПН даже после восстановления, включая эффекты ползучести, риск

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

отсроченного взрыва ненайденных боеголовок и т. п. В качестве примера можно привести случай с котлотурбинным цехом на одной ТЭС в Донецкой области, который неоднократно подвергался вражеским обстрелам, в результате чего накопились повреждения, приведшие к внезапному обрушению конструкций крыши во время эксплуатации. В результате этого происшествия указанный ОКИ понес прямые и косвенные потери — гибель и травмирование персонала, повреждение оборудования, аварийное отключение энергоблоков [10].

Один из основных ДБН В.1.2-14 [11] регламентирует, что установленная надёжность должна быть обеспечена на всех этапах **жизненного цикла объекта**, раскрывая следующую его этапность: изыскания и проектирование; изготовление, транспортировка и хранение строительных изделий; освоение строительной площадки и возведение объекта, приемка объекта в эксплуатацию; использование объекта по назначению в течение установленного срока эксплуатации, оценка технического состояния, текущие и капитальные ремонты; реконструкция и дальнейшее использование в новых условиях; ликвидация/демонтаж объекта. Эта важная методологическая структура должна в дальнейшем распространяться не только на надёжность объектов, но и на оценку составляющих ЖЦ.

Движение средств в ходе эксплуатации ОКИ, как и любого другого объекта экономики, характеризуется сложными взаимосвязями и циклами (рис. 6.2). Аварийное событие, такое как повреждение элементов ОКИ вследствие факторов воздействия ЗПН, приводит к резкому снижению доходов от ОКИ и росту затрат на восстановление его функциональности.

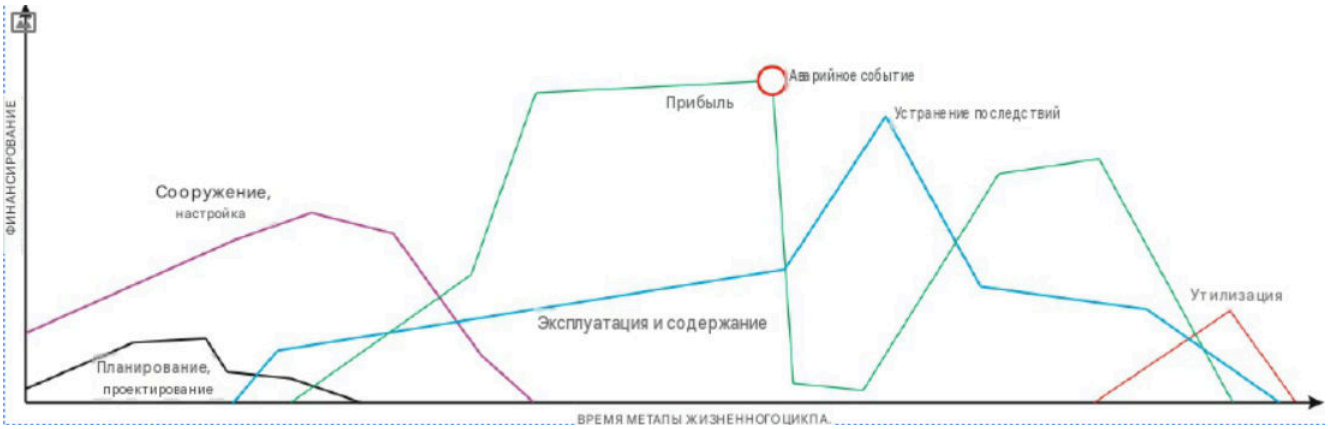


Рис. 6.2. График затрат и доходов на протяжении жизненного цикла объекта с учётом аварийного события

Основным интегральным критерием, к которому можно свести измеримость экономичности на данном этапе развития нашей страны и цивилизации в целом, является денежный эквивалент. Поэтому комплексная оценка параметров ЖЦ проекта включает как **экологический (LCA),** так и **экономический анализ (LCC).** Для всего здания также применяют WBLCA, см. выше. Обычно самой сложной для экологического анализа является фаза эксплуатации, а для экономического — наоборот,

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

фаза эксплуатации является наиболее важной. В данной монографии рассматривается только экономическая оценка ЖЦ.

Экономическая оценка стоимости жизненного цикла (Life Cycle Costing, LCC или Life Cycle Costing Analysis, LCCA) может осуществляться на различных этапах ЖЦ проекта — на общем уровне, с использованием среднестатистических показателей или показателей для конкретного типа строительства (их иногда называют «параметрическими оценками»), либо на детальном уровне, на основе конкретной оценки или прогнозов выполнения работ по компонентам и техническому обслуживанию.

Впервые методика оценки стоимости жизненного цикла была разработана Министерством обороны США (Department of Defense, DOD). Требования по учету стоимости жизненного цикла в государственных проектах появились в середине 1960-х годов для Вспомогательного секретариата обороны по оборудованию и логистике США (Assistant Secretary of Defense for Installations and Logistics). Это привело к появлению ряда указаний по закупкам, а затем к Директиве 5000.1 Министерства обороны США [15], устанавливающей требования к затратам на ЖЦ для всех основных закупок оборонных систем. В 1978 году Конгресс США принял Закон о национальной политике энергосбережения, который регламентирует для каждого нового федерального здания экономическую эффективность жизненного цикла [16]. Сегодня все федеральные ведомства США обязаны использовать анализ затрат жизненного цикла при оценке инвестиционных решений.

Обычно первоначальный ориентировочный анализ стоимости жизненного цикла (LCC) должен основываться на функциональной единице материала — например, на стоимости конструктивного элемента балки, или на относительном показателе актива: например, стоимость инженерной защиты одного элемента ОКИ — трансформатора, стоимость защиты на 1 МВ выработки электроэнергии и т. п. На более поздних этапах стоимость жизненного цикла может быть рассчитана по каждому элементу с использованием интегрированной структуры LCC, что повышает точность оценки. Базовая оценка LCC может быть усовершенствована и расширена, но в любом случае она составляет лишь основу для детального анализа стоимости жизненного цикла.

Подробный анализ стоимости жизненного цикла должен основываться на достаточно основательном описании и квантовании всех отдельных компонентов объекта строительства. При этом следует тщательно проверять эффекты от всех параметров, чтобы оценить их влияние на общую стоимость жизненного цикла. Подробный анализ может включать в себя составляющие жизненного цикла для всех изделий и их компонентов. Подробная классификация соответствующих затрат приведена в стандарте ISO 15686 [12]. В ходе подробного анализа должна быть определена **стоимость всех переменных.** Это означает, что для каждой позиции стоимости должен быть определен соответствующий период времени, в течение которого происходят или повторяются затраты. Следует учитывать, что затраты могут быть также фиксированными или переменными во времени. В качестве основы для временных параметров расчета денежных потоков следует брать график реализации жизненного цикла объекта, составленный на основе предварительной оценки. Из-за неопределенности затраты обычно рассчитывают в ценах,

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН

приведённых к дате анализа, а не в ценах будущего. Однако будущие прогнозируемые значения затрат на ЖЦ также могут быть использованы, если они необходимы для отчётности и чётко дифференцируются в ней, при этом они должны быть рассчитаны максимально точно. Особое внимание следует уделить наиболее значимым переменным затратам, которые можно получить с помощью следующих данных:

- прямых оценок из сведений о известных затрат и стоимости компонентов;
- анализа архивных данных по типовым решениям;
- моделей, основанных на усредненных показателях;
- прогнозных представлений о будущих тенденциях в области технологий и на рынке.

Экономический критерий выбора типа, формы, конструкций и т. п. для защитного инженерного сооружения ОКИ должен быть всеобъемлющим и учитывать все компоненты его ЖЦ, основываясь на принципе минимизации его полной стоимости. Состав стоимости ЖЦ (LCC) здания или сооружения является частью стоимости его полного жизненного цикла (Whole Life Cycle Costing, WLCC) [12–14], рис. 6.3).

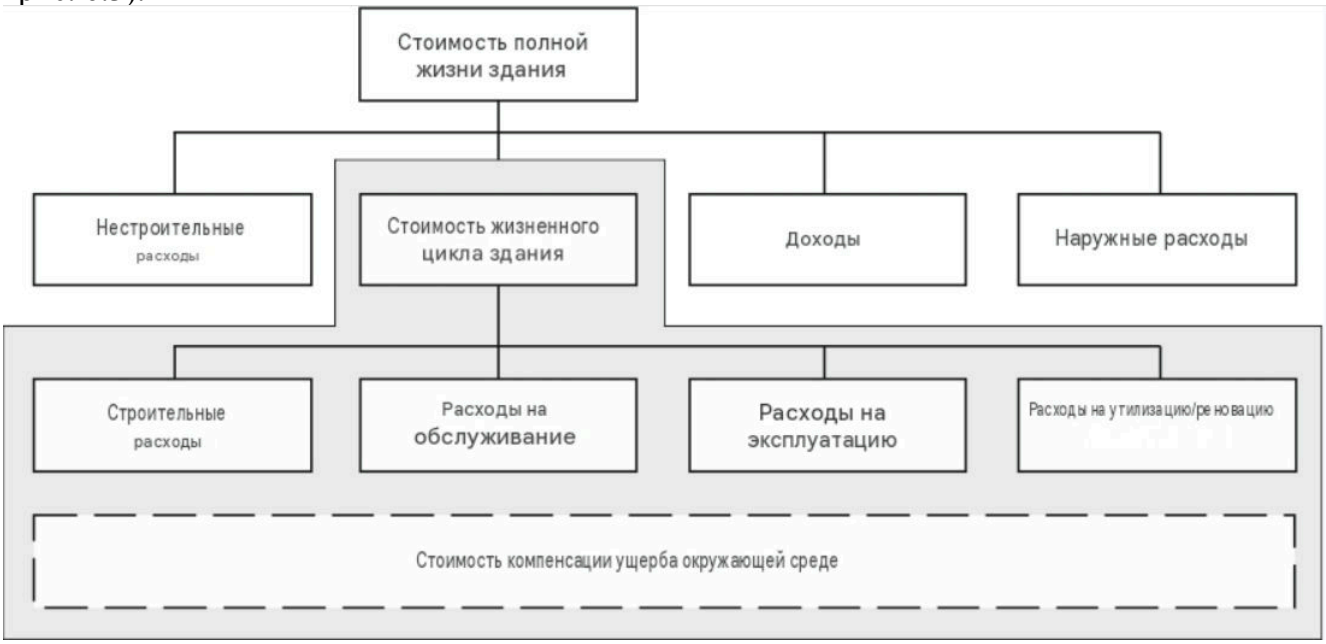


Рис. 6.3. Структура стоимости полного жизненного цикла здания или сооружения

Стоимость ЖЦ формируется из себестоимости здания или сооружения [17, 18], стоимости его эксплуатации и обслуживания, а также стоимости завершения цикла — то есть реновации или демонтажа сооружений и утилизации его компонентов [19].

Поскольку основной функцией защитных сооружений ОКИ является минимизация или предотвращение воздействия тех или иных факторов поражения ЗПН, для расчета стоимости ЖЦ необходимо знать потери, связанные с возникновением аварийных событий — повреждениями элементов ОКИ. С декабря 2022 года в Украине по инициативе авторов этой книги начался сбор данных о развернутой статистике поражений ОКИ в виде чек-листов. Собранная статистика по поражениям ОКИ всего за несколько месяцев, но наиболее интенсивного периода регулярного нанесения ударов ЗПН, уже позволяет сделать первые выводы. Защита

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

первого уровня при поражении ракетой не защищает элемент ОКИ, в большинстве случаев срабатывая частично (рис. 6.4). При поражении БПЛА эффективность защиты первого уровня снижается ещё больше (рис. 6.5).

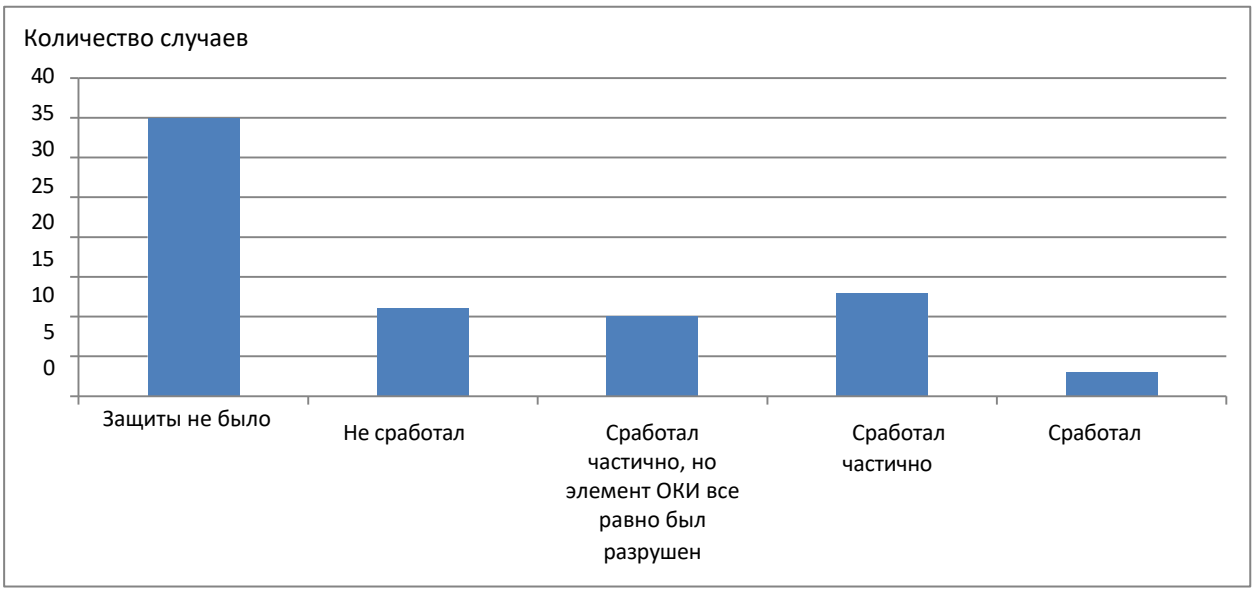


Рис. 6.4. Фактическая статистика наличия и эффективности защиты во время ракетного поражения (без указания отдельных типов ракет) декабрь–февраль 2022–2023 гг., защитные сооружения только первого уровня

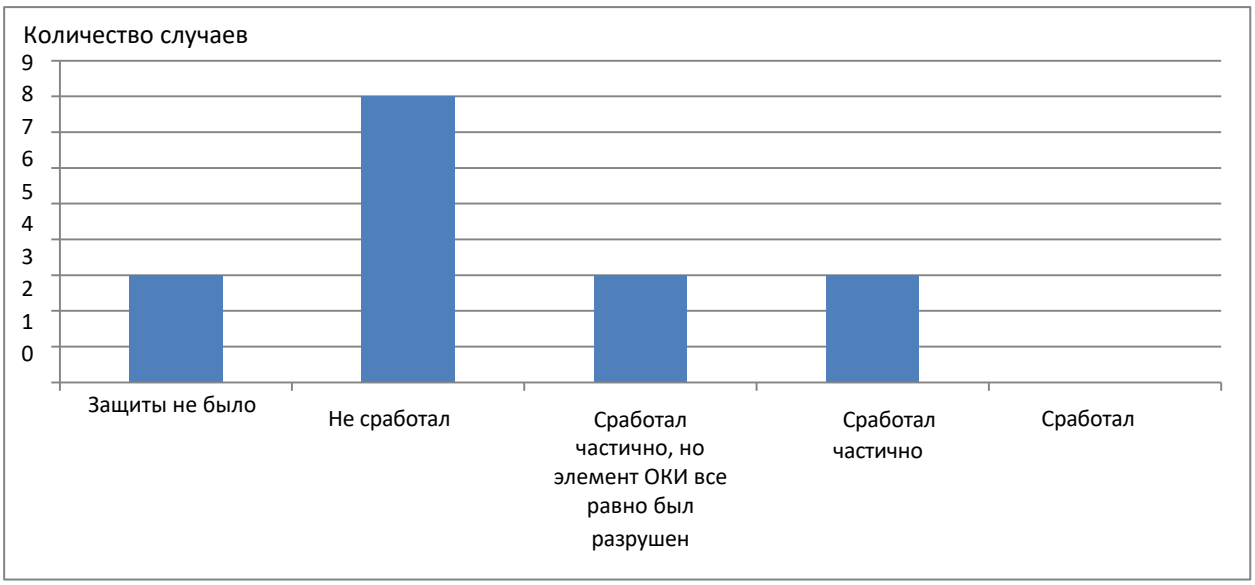


Рис. 6.5. Фактическая статистика наличия и эффективности защиты при поражении БПЛА (без указания отдельных типов БПЛА) декабрь–февраль 2022–2023 гг., защитные сооружения только первого уровня

Ниже приведена сравнительная табл. 6.1 факторов повреждения элементов ОКИ в результате воздействия ЗПН согласно собранной статистике.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

Таблица 6.1

Фактические данные о последствиях повреждения элементов ОКИ в результате атак ЗПН, полученные от операторов

Фактор	Ракеты	БПЛА	Среднее значение
Средняя стоимость ремонта повреждений и замены оборудования, грн.	124758367	356 253 480	240505924
Среднее прогнозируемое время полного восстановления ОКИ, сутки	194	271,67	233
Средний процент падения мощности, %	67,08	56,43	61,8
Среднее время восстановления мощности, суток	13	51,69	64,7

Таким образом, ущерб от попадания БПЛА в три раза превышает стоимость восстановления и в полтора раза превышает время восстановления по сравнению с попаданием ракет. В качестве потерь операторы ОКИ предоставляли только данные о замене и восстановлении (ремонте) поврежденного оборудования без учета косвенных потерь.

Данные в приведённой выше таблице и графиках представлены в обобщённом виде с частичной, полной или отсутствующей инженерной защитой первого уровня.



а *б*

Рис. 6.6. Сбой систем инженерной защиты первого уровня: уничтожение трансформатора после прямого попадания ракеты РФ, который обеспечивал электроснабжение 400 тысяч потребителей, защита из бигбегов разрушена (*а*), уничтожение нефтеперерабатывающего узла в результате прямого попадания «Шахида-136» (*б*)

На момент написания книги сбор статистических данных продолжается, и после завершения строительства сооружений второго и третьего уровней защиты станет возможным при вероятных прямых и непрямых попаданиях ЗПН получать фактические данные об эффективности всех систем защиты в соответствии с концепцией «Страна-крепость», а при необходимости — совершенствовать и развивать проектные решения.

Выбор оптимального конструктивного решения защитного сооружения на предпроектной стадии с учётом критериев жизненного цикла является важной и актуальной задачей, особенно в условиях влияния временных и финансовых факторов, которыми ограничены проектировщик, инвестор, строитель и оператор ОКИ. Обычно выбор исходного варианта сооружения опирается на обобщённый опыт проектирования конкретного проектировщика, а при

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

отсутствии необходимых аналогов — на сравнение вариантов. Поэтому на первом уровне оптимизации строительных конструкций находится вариантное проектирование, когда рассматриваются несколько вариантов будущей конструкции, которые сравниваются по определенным критериям, преимущественно по технико-экономическим показателям. Анализ осуществляется путем осмысления лицом, принимающим решение (ОПР), соответствия параметров каждого из вариантов решений условиям или ограничениям, заданным в техническом задании на проектирование, по каждому из критериев сравнения [20].

С точки зрения стоимости задача выбора системы инженерной защиты для ОКИ может быть формализована в виде решающего правила
соотношения стоимости обеспечения защиты C_Pи возможных потерь от
поражения защищаемого элемента E_C:

$$C_P = C_{IP} + C_{TS} < E_C = E_D + E_N \qquad (6.1)$$

где C_{IP} – прямая приведенная стоимость, связанная с системой инженерной защиты;

C_{TS} – косвенные затраты на инженерную защиту, например недополученная прибыль от контролируемой временной остановки оборудования для организации инженерной защиты и т. п.;

E_D – стоимость прямых потерь от поражения и уничтожения или повреждения элемента ОКИ в результате действия ЗПН (замена или ремонт элемента ОКИ, если это возможно),

E_N – стоимость косвенных потерь от уничтожения или повреждения элемента ОКИ в результате воздействия ЗПН.

Такие потери могут учитывать недополученную прибыль от внезапной остановки элемента ОКИ, потери третьих сторон, потери в связи со временем восстановления или ремонта элемента и т. п.

Прямая приведенная стоимость инженерного защитного сооружения может быть на первом этапе определена как суммарная сметная стоимость его устройства, затрат на его восстановление и на эксплуатацию в течение срока службы до замены. Это хорошо подходит для систем защиты первого уровня.

Для систем второго и третьего уровня, которые возводятся на длительный срок и являются капитальными сооружениями, необходим более комплексный и детальный анализ приведенных затрат.

Прямая приведенная стоимость, связанная с системой инженерной защиты,
C_{IP} – может быть определена как капитальные затраты ЖЦ:

$$C_{IP} = C_{IPO} + C_{IPR} + C_{IPM}, \qquad (6.2)$$

где C_{IPO} – приведенные капитальные затраты на строительство защитной системы;

C_{IPR} – стоимость ремонта повреждений системы, возникших в результате воздействия факторов
поражения за расчетный срок эксплуатации;

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

C_{IPM} – стоимость обслуживания защитной системы и её подсистем. Согласно статистике для промышленных объектов, для всего расчетный срок эксплуатации сооружения принята величина 2 % от C_{IPO} [8].

Косвенная стоимость инженерной защиты C_{TS} может быть определена следующим образом:

$$_{CTS} = _{CTSO} + _{CTSS} \quad (6.3)$$

где C_{TSO} – недополученная прибыль владельца ОКИ вследствие вынужденной контролируемой временной остановки оборудования и технологических перерывов в работе на время установки защитной системы, а также другие возможные косвенные потери оператора;

C_{TSS} – возможные косвенные социально-экономические потери государства, такие как несозданный ВВП за время простоя и падения мощности, потери, связанные с ОКИ предприятий и т. п.

Этот критерий является самым сложным для определения, так как сбои в работе инфраструктуры и вызванные ими экономические убытки представляют собой сложное для анализа явление. Предприятия, которые существенно зависят от инфраструктуры энергетической отрасли (например, от электроэнергии, газа), имеют самое разнообразное назначение. Получить информацию об обороте ресурсов, продуктов, услуг и средств в социально-экономических сетях и объектах, которые неявно, но тесно взаимосвязаны, достаточно сложно. Кроме того, элементы инфраструктуры зависят друг от друга (а иногда взаимозависимы), и это означает, что сбой может распространяться с каскадным эффектом. Существующие известные наблюдения за событиями, сопровождающими отказы в ОКИ, носят единичный и неполный характер. Сложные обстоятельства, характеризующие любое конкретное событие отказа, являются достаточно уникальными и вряд ли повторятся в будущем. Моделирование и понимание распространения воздействия сбоя инфраструктуры на предприятия и экономику требуют структуры, которая учитывает следующие аспекты: процессы и последствия сбоев физической инфраструктуры с точки зрения потерь физического капитала и сбоев в потоках услуг; вызванные ими сбои в бизнесе и экономические потери в более широких макроэкономических секторах. Кроме того, ввиду пространственной и временной природы как самого сбоя инфраструктуры, так и экономики, на которую он влияет, необходимо учитывать более широкие, многорегиональные потери и возможные выгоды от эффектов замещения элементов ОКИ. Доказано, что относительно небольшие сбои в местной экономике могут привести к относительно значительным макроэкономическим последствиям, и чем масштабнее сбой, тем меньше вероятность того, что другие регионы смогут компенсировать его негативные последствия [21]. Эти параметры наиболее сложно оценить из-за их комплексности.

На основе аналогов, рассматривая перебои в электроснабжении, вызванные природными и техногенных бедствий, можно упрощенно вычислить C_{TSS} с помощью коэффициента увеличения потерь от косвенных последствий отказов в инфраструктуре. Агентство по окружающей среде Великобритании, например, традиционно использует коэффициент увеличения, равный примерно 2, в своих долгосрочных инвестиционных сценариях, тогда как в некоторых исследованиях

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

использовали коэффициент 1,89 [22]. Таким образом, социально-экономические убытки считаются в 1,89…2 раза больше прямых убытков с учётом отказов инфраструктуры. Рассматривая макроэкономические последствия на национальном уровне, результаты имитационных исследований [22] свидетельствуют о том, что ежедневные прямые потери производства могут возрасти до коэффициента, равного 33, а общие потери производства — до коэффициента 3 (то есть в три раза), если добавить к оценке потерь вероятность критических отказов в инфраструктуре.

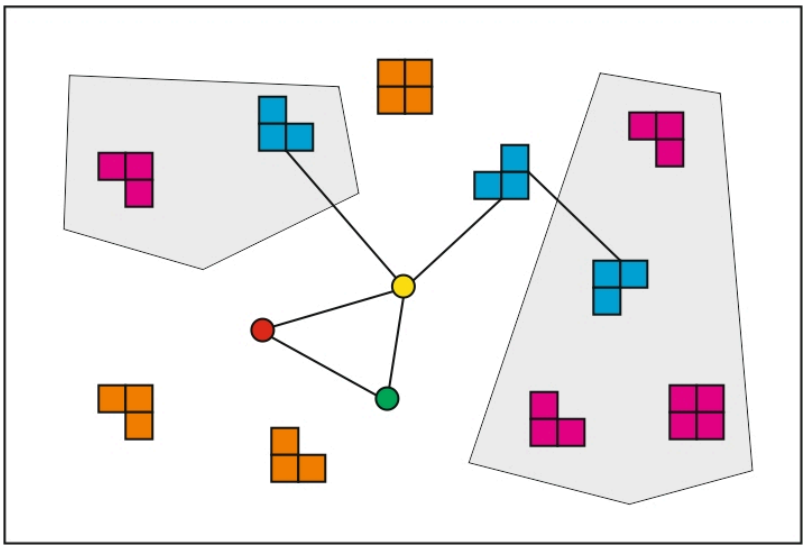


Рис. 6.7. Схема воздействия повреждения ОКИ от действия ЗПН. Круги — элементы ОКИ: красный — непосредственно поврежденный элемент; желтый — отказ связанного элемента; зеленый — неповрежденный элемент; голубой цвет — отказы непосредственно связанных с ОКИ объектов-потребителей; лиловый — косвенные отказы объектов в зоне обслуживания и услуг непосредственно связанных объектов; оранжевый — объекты, не подвергшиеся воздействию

Как наглядно показано на схеме рис. 6.7, объекты критической энергетической инфраструктуры связаны как с другими ОКИ, обеспечивая питание их основной функции, так и с другими потребителями, каждый из которых может не иметь высокого уровня критичности, однако он становится таковым в случае отключения от сети главных, более важных элементов, либо определённого, критического количества менее важных.

Рассмотрим более подробно построение математической модели и методики выбора систем инженерной защиты ОКИ на реальных примерах.

6.2. Примеры сравнительной экономической оценки жизненного цикла объектов критической инфраструктуры

Рассмотрим предложенную выше методику для задач сравнения вариантов стратегий действий ОПР в ходе инженерной защиты элементов ОКИ.

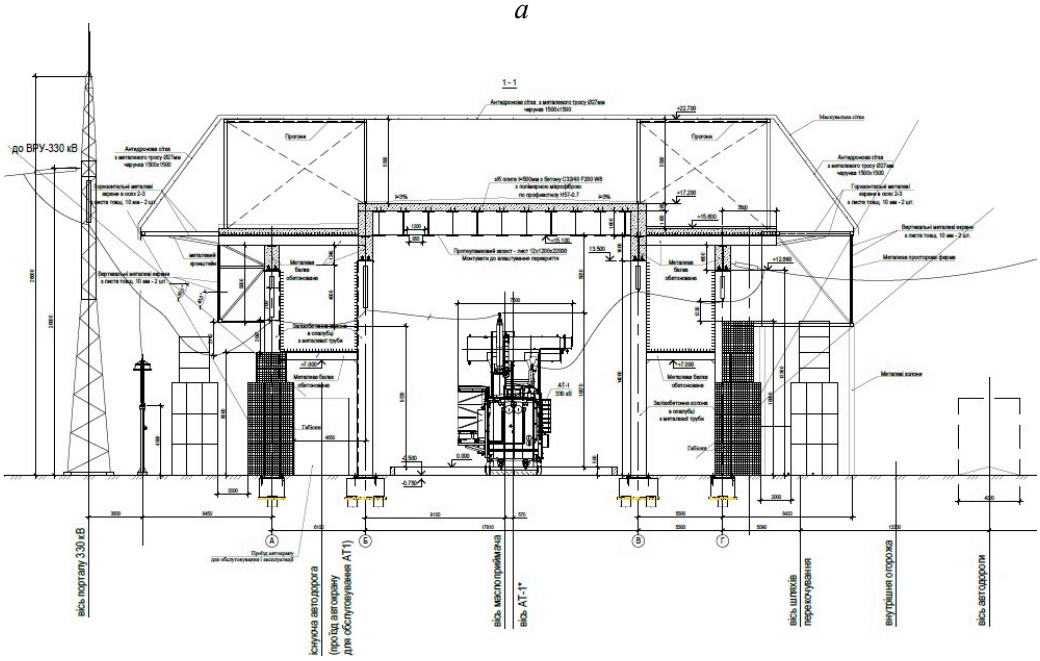
Пример 6.1. Решим задачу определения целесообразности сооружения второго уровня защиты типа «Шелтер» для отдельного элемента трансформатора типовой ПС 750/330/110 кВ, рис. 6.8.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод



а



б

Рис. 6.8. Вид площадки станции – *а*; *б* – поперечное сечение концепции проекта отдельного защитного сооружения типа «Шелтер» второго уровня защиты для трансформатора

Для определения каждой из составляющих неравенства применим смешанный комплектный подход (6.1). Сначала выясним исходные данные, необходимые для расчетов.

Приведённые капитальные затраты на возведение защитного C_{IPO} для сооружения

Данные по этому примеру были получены на основе проектно-сметной документации, предоставленной подрядной организацией застройщика защитных сооружений ОКИ [23]:

$$C_{IPO} = 650\,000\,000 \text{ грн.}$$

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

Также от подрядной организации были получены графики строительства. Общая прогнозируемая продолжительность строительных работ составляет T_w = 6 месяцев. Ориентировочный график выполнения работ по возведению сооружения второго уровня защиты приведен в табл. 6.2.

Таблица 6.2

Примерный график выполнения работ по возведению сооружения второго уровня защиты типа «Шелтер» (строительная часть)

Наименование работ	Месяц					
	1	2	3	4	5	6
Подготовительный этап						
Выбор места расположения сооружения, участка рядом с существующего оборудования (или на месте поврежденного)						
Получение технического задания на проектирование						
Исследование						
Установка испытательных свай и проведение испытаний						
Выполнение этапа «П»						
Утверждение этапа «П»						
Экспертиза проекта						
Строительные работы (1 очередь)						
Полученные данные испытаний свай						
Разработка проектной документации этапа «Р»						
Разработка грунта для планировки территории						
Устройство свайных фундаментов						
Выполнение монолитных ростверков						
Выполнение монолитных колонн высотой 20 м						
Монтаж металлических балок высотой 1,5 м						
Выполнение монолитной плиты перекрытия						
Изготовление монолитных опор						
Изготовление фундаментной плиты и монтаж наружных стен						
Выполнение стяжки						
Выполнение защитного экрана и планировка проездов						
Огнезащита и пожаротушение камеры АТ						

Мощность рассматриваемой узловой распределительной подстанции на 750/330/110 кВ составляет 1000 мегавольт-ампер (МВА). Количество потребителей, подключенных к главному активу (трансформатору), предоставлено оператором в справочных целях: Q_c = 144 281.

На момент проведения исследования известно, что Кабинет министров Украины установил для всех жителей Украины фиксированную цену на электроэнергию, которая будет действовать с 1 июня по 31 декабря 2023 года. Она составляет 2,64 грн/кВт·ч независимо от объема потребления. Фиксированная цена будет применяться при расчетах, начиная с июня 2023 года. Следовательно, можно взять средний денежный тариф для потребителя за 1 кВт·ч, V_{el} = 2,64 грн/кВт·ч.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

По данным НКРЭКП, среднемесячное потребление электроэнергии на одно домохозяйство в Украине составляет 150–164 кВт·ч. Для проведения расчетов в данном примере в среднем примем потребителей приравненными к домохозяйствам, но с более высокой оценкой в C_{el} = 164 кВт·ч. Поскольку ПС – это хотя и ключевой, но только распределительный и преобразующий узел энергосети, его доля в общей цепочке создания стоимости составляет 10…30%, по экспертной оценке можно принять 20%.

Следовательно, в таком случае прибыль от актива ПС за месяц от преобразования электроэнергии для определенного количества потребителей составляет

$$I_m = Q_c \cdot V_{el} \cdot C_{el} \cdot 0,2 = 12\,493\,580 \text{ грн.},$$

что выглядит реалистичной суммой. Неполученная прибыль вследствие простоя и времени на организацию защиты рассчитывают по формуле

$$C_{TSO} = T_w \cdot I_m = 74\,961\,482 \text{ грн.}$$

По данным статистики от ГССИ, количество попаданий «Шахид-131» и «Шахид-136» по 50 ОКИ за отчетный рассматриваемый период 60 дней (2 месяца) — 17 попаданий. Это число уже учитывает эффективность систем ПВО, так как рассматриваются только те БПЛА, которые долетели до элементов ОКИ; также учтены точность и надёжность БПЛА (только попадания, приведшие к повреждениям элементов ОКИ, без учета степени их тяжести). В то же время рассматриваемый период относится к фазе наиболее массированных атак на ОКИ именно энергетико-топливного сектора национальной экономики. Если рассматривать расчетные сроки ЖЦ в один год и более, то можно усреднить интенсивность в два раза (коэффициент 0,5). Это дает следующее среднее количество попаданий в ОКИ в год:

$$P_A = 17/(50 \cdot 2) \cdot 12 \cdot 0,5 = 1,02.$$

Расчетный срок ЖЦ для обычных условий коммерческого строительства обычно принимают равным 20...30 лет, так как это соответствует инвестиционному циклу до реновации или ремонта объекта [9]. В целом, расчетный срок ЖЦ отражает исследуемый период между фазовыми преобразованиями объекта [8]. В случае же защитных сооружений ОКИ (и не только) новым фазовым состоянием после создания является воздействие угроз, обусловленных военными действиями. Следовательно, для таких объектов прогнозным периодом является время окончания войны. Из мировой истории известно, что большинство войн заканчиваются в течение одного года. Война РФ против Украины является атипичной, так как продолжается с 2014 года, а с 2022 года вступила в фазу открытого полномасштабного вторжения. Однако по обобщённой минимальной экспертной оценке можно предположить, что время до окончания активной фазы войны составляет не менее 2 лет [24].

С тех пор количество поражений элемента ОКИ за расчетный срок T_o= 2 года составит $T_o \cdot P_A$= 1,02·2 = 2,04 раза.

Стоимость ремонта защитного сооружения после единичного поражения от ЗПН (проектного, так как оно на это рассчитано) может, по экспертной оценке, составлять до 5 % его стоимости. Стоимость ремонтов после поражений за расчетный срок тогда составит

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

$C_{IPR} = C_{IPO} \cdot 0{,}05 \cdot 2{,}04 = 66\ 300\ 000$ грн.

Стоимость текущего обслуживания защитного сооружения C_{IPM} как было указано выше, может быть принята равной 1% от C_{IPO} в год. Тогда на весь расчетный срок службы сооружения стоимость текущего обслуживания защитного сооружения составит:

$$C_{IPM} = 0{,}01 \cdot C_{IPO} \cdot T_o = 0{,}01 \cdot 650000000 \cdot 2 = 1\ 300\ 000 \text{ грн.}$$

Поскольку подстанция является государственной собственностью, критерий косвенных социально-экономических потерь C_{TSS} применим. На данном этапе исследований пока невозможно установить потери на основе статистических данных или на основе моделирования. Исходя из консервативных соображений, коэффициент увеличения потерь от косвенных последствий отказов в инфраструктуре может приниматься равным 1,89 (см. выше). Данные затраты являются единовременными:

$$C_{TSS} = 1{,}89 \cdot C_{TSO} = 1{,}89 \cdot 74\ 961\ 482 = 141\ 677\ 201 \text{ грн.}$$

Таким образом, общая приведенная стоимость защиты составит:

$C_P = 650\ 000\ 000 + 74\ 961\ 482 + 141\ 677\ 201 + 66\ 300\ 000 + 1\ 300\ 000 =$

934 238 683 грн.

Стоимость прямых потерь от поражения и уничтожения или повреждения элемента ОКИ в результате действия ЗПН, как указано выше, представляет собой **единовременные потери**

$E_D = 356\ 253\ 480$ грн.

E_N – стоимость косвенных потерь от уничтожения или повреждения элемента ОКИ в результате действия ЗПН. Такие потери могут включать недополученную прибыль вследствие внезапной остановки элемента ОКИ, убытки третьих сторон на время восстановления или ремонта элемента и т. п.:

$$E_N = E_{DSO} + E_{DL} + E_{DM}$$

где E_{DSO} – неполученная прибыль вследствие простоя на время ремонта/восстановления элемента ОКИ. Как было рассчитано ранее, $И_m = 12\ 493\ 580$ грн, что представляется реалистичной суммой. T_{rt} – время ремонта/восстановления, которое равно 271,67 суток за один случай повреждения элемента ОКИ, определённое на основе реальной статистики (см. выше). С учётом рассчитанного, недополученная прибыль из-за простоя на время организации защиты составит **разовые потери:**

$$E_{DSO} = T_{rt} \cdot I_m = 271{,}67/30 \cdot 12\ 493\ 580 = 113\ 137\ 699 \text{ грн.}$$

где E_{DL} – недополученная прибыль вследствие падения мощности подстанции из-за повреждения актива. При **каждом случае** повреждения элемента на подстанции на сравнительно небольшое время падает мощность, пока персонал не восстановит подачу электроэнергии по временной схеме. Таким образом

$$E_{DL} = T_{pl} \cdot I_m \cdot p_{pl} = 51{,}69/30 \cdot 12493580 \cdot 56{,}43\% = 12\ 147\ 370 \text{ грн.}$$

Косвенные оценочные социально-экономические **единовременные** потери в случае поражения ОКИ составят

$$E_{DM} = E_{DL} \cdot 1{,}89 = 12147370 \cdot 1{,}89 = 22\ 958\ 528 \text{ грн.}$$

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

Полученная оценка риска соизмерима с последствиями техногенных и природных бедствий. Например, при анализе последствий наводнения в Великобритании, которое происходило с вероятностью 1/100 года, было установлено, что отказ подстанции напряжением 132 кВ затронул 61 000 объектов, электроснабжение которых было постепенно восстановлено в течение двух дней, а отключение затронуло более 100 000 человек [25], а размер убытков был оценен в 10 миллионов фунтов стерлингов за два дня. Безусловно, приведенный расчет не отражает всех особенностей и затрат, связанных с повреждением элементов ОКИ, но дает представление о порядке величины и масштабах убытков.

В нашем примере совокупные косвенные **разовые** потери составят:

$$E_N = {}_{EDSO} + {}_{EDL} + \quad E_{DM} = 113\,137\,699 + 12\,147\,370 + 22\,958\,528 = 148\,243\,597 \text{ грн.}$$

Общие потери, связанные с повреждениями трансформатора в течение расчетного срока службы в случае применения стратегии отказа от строительства инженерного защитного сооружения, составят:

$$E_C = (E_D + E_N) \cdot T_o \cdot P_A = (356\,253\,480 + 148\,243\,597) \cdot 2 \cdot 1{,}02 = \mathbf{1\,029\,174\,037} \text{ грн.}$$

Как видно, в конечном итоге **1 029 174 037 > 934 238 683** грн, следовательно, для принятых параметров **строительство инженерного защитного сооружения является экономически оправданным.**

Пример 6.2. Рассмотрим вопрос принятия решения об определении целесообразности устройства заглубленного сооружения третьего уровня инженерной защиты для группы оборудования элемента типовой ПС 750/330/110 кВ (принятая вместимость сооружения — три трансформатора, рис. 6.9).

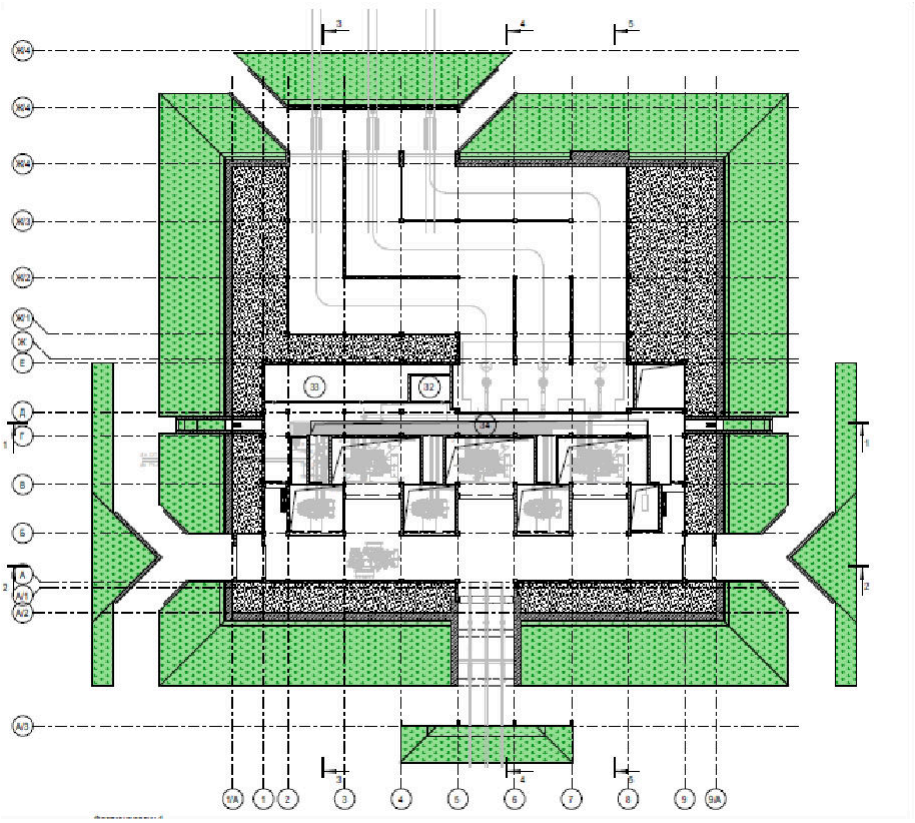


Рис. 6.9. План концепции проекта сооружения третьего уровня инженерной защиты для трех трансформаторов и сопутствующего оборудования

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

Применим смешанный комплексный подход к определению каждой из составляющих неравенства (6.1). Сначала выясним исходные данные, необходимые для расчетов. Приведенные капитальные затраты на строительство защитного сооружения C_{IPO} для данного примера были получены на основе проектно-сметной документации, предоставленной подрядной организацией застройщика сооружений защиты ОКИ [23]:

$$C_{IPO} = 2\ 956\ 000\ 000 \text{ грн.}$$

Также от подрядной организации были получены графики строительства. Общая продолжительность строительных работ T_w = 12 месяцев (см. плановый график в табл. 6.3).

Таблица 6.3

Ориентировочный график выполнения работ по возведению сооружения третьего уровня защиты (строительная часть)

Наименование работ	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Подготовительный этап												
Выбор места расположения объекта												
Получение технического задания на проектирование												
Исследование												
Испытания свай												
Выполнение этапа «П»												
Утверждение в НЭК «Укрэнерго» опросных листов												
Отправка производителям анкет листов для этапа «Р»												
Утверждение этапа «П»												
Экспертиза проекта												
Строительные работы												
Полученные данные испытаний свай												
Разработка проекта этапа «Р»												
Земляные работы и дренаж												
Забивка/бурение свай (100 свай в день)												
Выполнение монолитных ростверков 3/1,5 м												
Выполнение колонн высотой 11,5 м												
Монтаж металлических балок высотой 1,5 м												
Изготовление монолитной плиты перекрытия												
Выполнение песчаной подушки и выезда												
Выполнение тюфяка												
Изготовление внутренней плиты фундамента и монтаж наружных стен												
Изготовление маслосборника, резервуара воды												
Монтаж внутренних стен												
Выполнение стяжки												
Выполнение защитных стен и проездов												
Монтаж внутренних инженерных сетей												

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

Все остальные исходные данные были взяты, как и в примере 6.1, с учетом столбца «усредненные» из табл. 6.1. V_{el} = 2,64 грн/кВт·ч. C_{el} = 164 кВт·ч из предыдущего расчета. Q_c = 144 281 грн, и соответственно I_m = 12 493 580 грн., T_{rt} = 271,67 суток, T_{pl} = 51,69 суток, p_{pl} = 56,43 %.

Сооружения, строящиеся в соответствии с третьим уровнем защиты, предназначены для защиты элементов ОКИ как от прямых попаданий БПЛА, так и от ракет. Согласно имеющейся от ДССЗИ статистике, количество попаданий БПЛА типа «Шахид-131/136» и ракет различного типа по данным по 50 объектам за период 60 дней составляет 92 попадания (приведено количество попаданий из тех, которые привели к повреждениям, без разбивки по степени тяжести), следовательно, за год, с учётом коэффициента неравномерности 0,5 атак по сравнению с исследуемым активным периодом, для трёх активов:

$$P_A = 92/(50\cdot 2)\cdot 12\cdot 0{,}5\cdot 3 = 5{,}52.$$

Количество комбинированных повреждений элемента ОКИ за расчетный период T_o = 2 года, составит $T_o \cdot P_A = 5{,}52\cdot 2 = 11{,}04$ раз.

Неполученная прибыль вследствие простоя на время строительства защитного сооружения

$$C_{TSO} = T_w \cdot I_m = 449\ 768\ 893 \text{ грн.}$$

В данном случае консервативно взята линейная модель без учета существующего ОКИ, который может работать параллельно.

Стоимость ремонта защитного сооружения после единичного поражения (проектного, так как оно на это рассчитано) может, по оценке экспертов, составлять до 5 % его стоимости. Стоимость ремонтов после поражения за расчетный период тогда составит

$$C_{IPR} = C_{IPO} \cdot 0{,}05\cdot 11{,}04 = 1\ 631\ 712\ 000 \text{ грн.}$$

Стоимость текущего обслуживания защитного сооружения C_{IPM} как было указано выше, может быть принята равной 1% от C_{IPO} в год. Тогда на весь расчетный срок службы сооружения стоимость текущего обслуживания защитного сооружения

$$C_{IPM} = 0{,}01\cdot C_{IPO} \cdot T_o = 0{,}01\cdot 2\ 956\ 000\ 000\cdot 2 = 5\ 912\ 000 \text{ грн.}$$

Поскольку рассматриваемая подстанция является государственной собственностью, критерий непрямых социально-экономических потерь C_{TSS} применим. К приведенной выше коэффициентом 1,89 одноразовых затрат:

$$C_{TSS} = 1{,}89 \cdot C_{TSO} = 1{,}89 \cdot 449768893 = 850\ 063\ 207 \text{ грн.}$$

Таким образом, общая приведенная стоимость защиты составит, в округлённом виде:

$$C_P = 2\ 956\ 000\ 000 + 449\ 768\ 893 + 850\ 063\ 207 + 1\ 631\ 712\ 000 + $$
$$+5\ 912\ 000 = \mathbf{5\ 893\ 456\ 100 \text{ грн.}}$$

Таким образом поскольку сооружение защищает сразу три ключевых элемента ОКИ, расчетные данные рассчитаны для трех активов:

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

Стоимость прямых потерь от поражения и уничтожения или повреждения элемента ОКИ в результате действия ЗПН

$$E_D = 240505924 \cdot 3 = \textbf{721 517 772}\ \text{грн.}$$

$$E_{DSO} = T_{rt} \cdot I_m \cdot 3 = 233/30 \cdot 12493580 \cdot 3 = 291\ 100\ 422\ \text{грн.}$$

$$E_{DL} = T_{pl} \cdot I_m \cdot p_{pl} \cdot 3 = 51{,}69/30 \cdot 12\ 493\ 580 \cdot 56{,}43\ \% = 49\ 955\ 081\ \text{грн.}$$

Косвенные социально-экономические **разовые** потери в случае поражений ОКИ

$$E_{DM} = E_{DL} \cdot 1{,}89 \cdot 3 = 49\ 955\ 081 \cdot 1{,}89 \cdot 3 = 283\ 245\ 311\ \text{грн.}$$

Совокупные косвенные **разовые** потери с тех пор составляют:

$$E_N = {}_{EDSO} + {}_{EDL} + \quad E_{DM} = 291\ 100\ 422 + 49\ 955\ 081 + 283\ 245\ 311 =$$

$$= \textbf{624 300 814}\ \text{грн.}$$

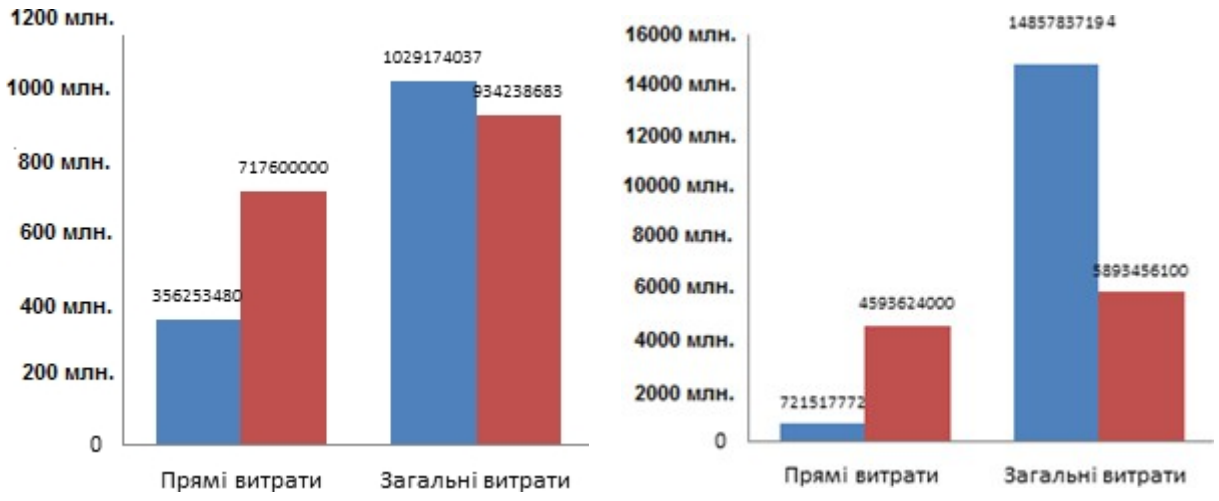
Общие потери, связанные с повреждениями трёх трансформаторов в течение расчётного периода ЖЦ, при применении стратегии отказа от строительства инженерного защитного сооружения, составляют:

$$E_C = (E_D + E_N) \cdot T_o \cdot P_A = (721\ 517\ 772 + 624\ 300\ 814) \cdot 2 \cdot 5{,}52 =$$

$$= \textbf{14 857 837 194}\ \text{грн.}$$

Следовательно, в результате **14 857 837 194 > 5 893 456 100 грн, для заданного набора данных строительство инженерного защитного сооружения является экономически обоснованным.**

Сравнительные данные по примерам 6.1 и 6.2 представлены на рис. 6.10.



а *б*

Рис. 6.10. Гистограммы сравнения результатов расчетов затрат, грн: *а* – для сооружений второго уровня защиты; *б* – для сооружений третьего уровня защиты; синие столбцы – без инженерной защиты, красные – с инженерной защитой

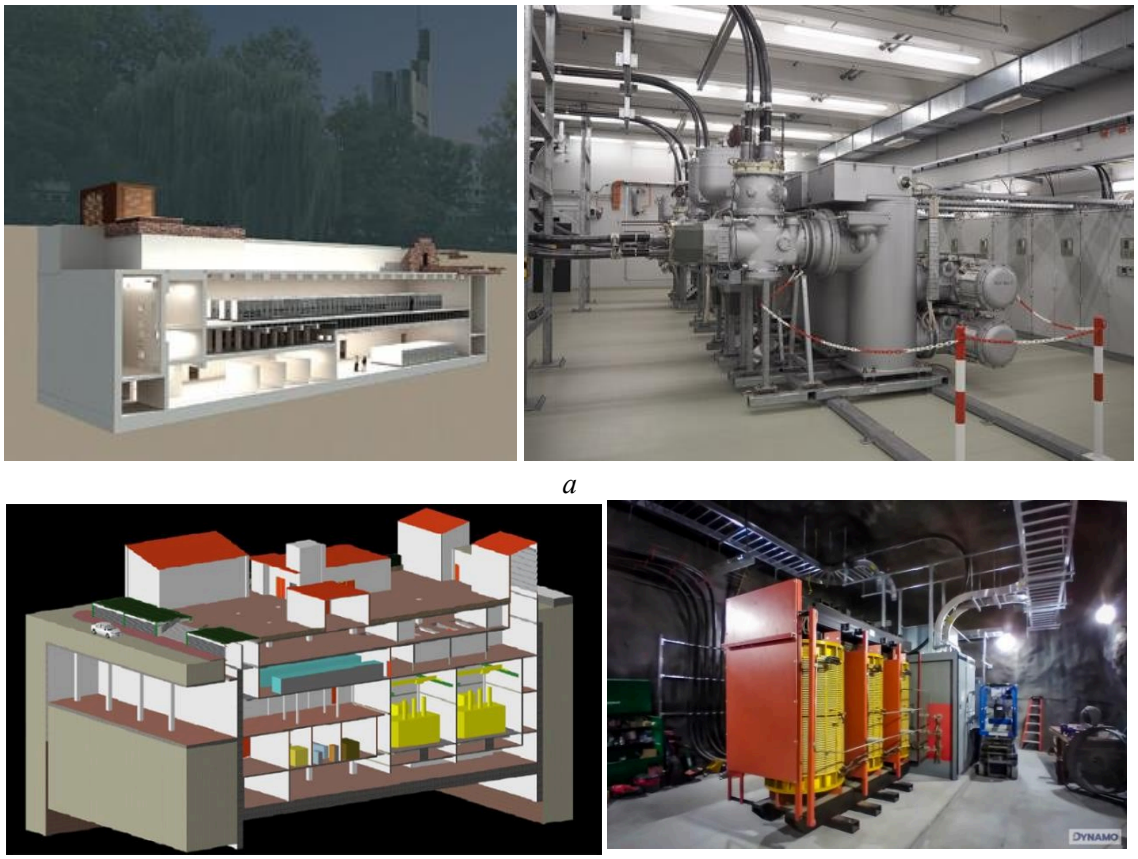
Важно отметить, что восстановление каждого трансформатора без его защиты не дает гарантии против очередного поражения. Фактические сроки вывода из строя, а также доставки и монтажа оборудования значительны, а частота поражений — существенна, что свидетельствует о том, что во время доставки оборудования время

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН

его продуктивной работы до очередного поражения – может быть очень малым. Кроме того, даже после завершения войны конфликт с применением ЗПН может вспыхнуть через некоторое время снова, и поражения ОКИ будут наноситься вновь. Разработанная в данном разделе модель пока не учитывает второстепенные составляющие затрат, которые оказывают незначительное влияние на общие стоимостные показатели, а также стоимость денег во времени. Однако полученные результаты достоверны для обоснования и принятия решений относительно целесообразности строительства и определения типов инженерной защиты элементов ОКИ.

Заглубленные подстанции находят всё более широкое применение в мире, но пока не из-за защитных свойств, а прежде всего из-за экономии надземного пространства и удобства эксплуатации подземных линий электропитания (рис. 6.11).



а

б

Рис. 6.11. Примеры сооружений заглубленных подстанций: *а* – подстанция Mainova, расположенная на 17 метров ниже уровня улицы, Франкфурт, Германия [26]; *б* – подземная подстанция в Klong Toey, Таиланд [27]

Полученные нами выше в примерах результаты коррелируют с аналогичными, полученными в других странах. Так, масштабные исследования, проведенные в Норвегии и США, показали, что подземные сооружения могут иметь меньшую стоимость жизненного цикла по сравнению с полузаглубленными и наземными зданиями при более низких степенях защиты последних (рис. 6.12).

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

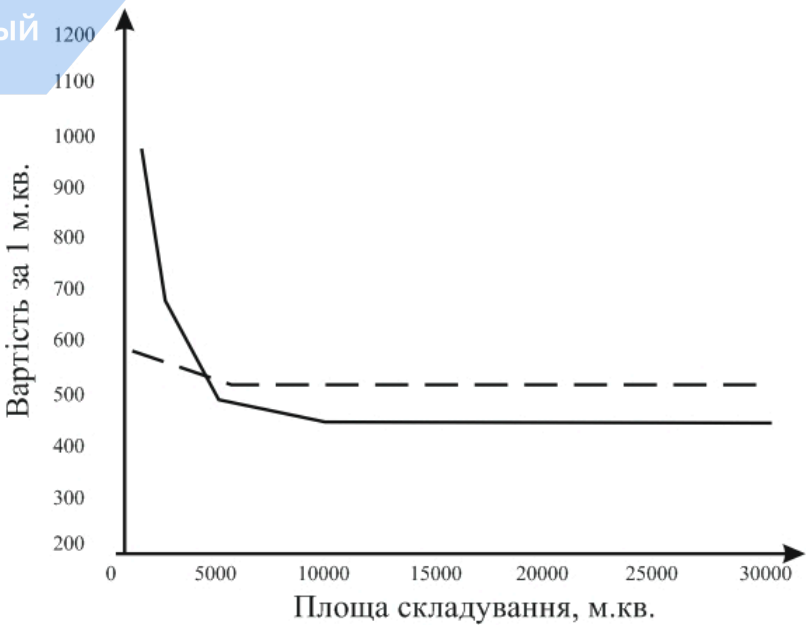


Рис. 6.12. Сравнение стоимости жизненного цикла объектов, заглубленных в скалы и расположенных на поверхности, за весь период эксплуатации (затраты в норвежских кронах) [28], сплошная линия — заглубленные сооружения, штриховая — наземные

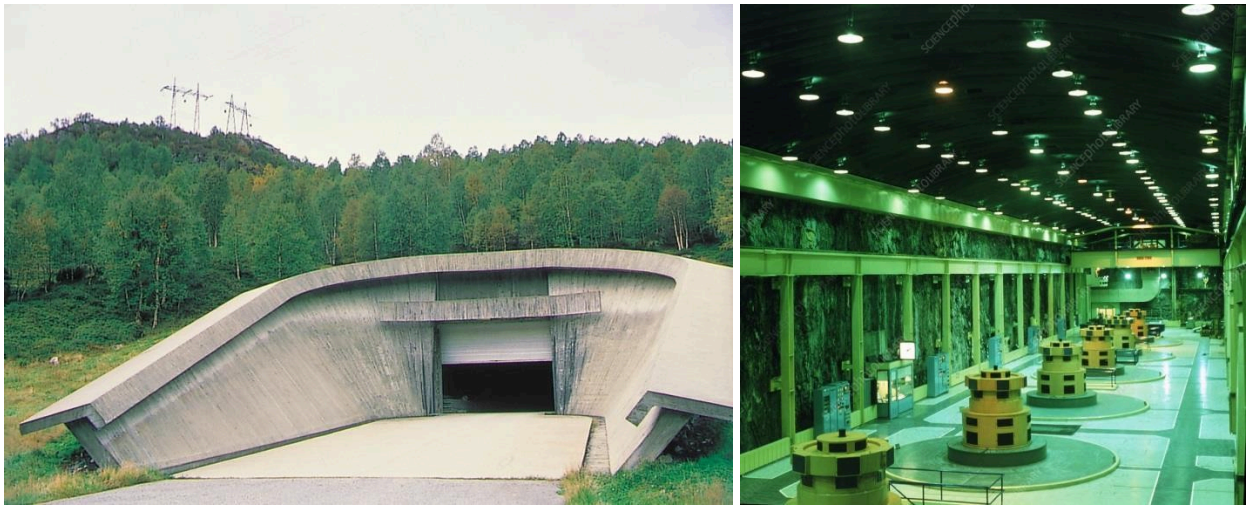


Рис. 6.13. Подземная электростанция, расположенная в муниципалитете Сирдал (Sirdal), Канада, на глубине 300 м под землей. Она была введена в эксплуатацию в 1973 году [29]

В вышеупомянутых исследованиях было установлено, что для длительного срока службы (однако для периода мирного времени, без учета повреждений от ЗПН) защищенные объекты подземного расположения площадью 5000 м^2 и более являются более экономичными, чем наземные.

Такие результаты для подземных объектов обусловлены прежде всего следующими факторами (см. также раздел 3):

– экономия на отоплении, кондиционировании, ограждающих и несущих конструкциях, окнах и т. п.;
– сохранность и высокая адаптивность в конце срока эксплуатации
– меньший износ систем, устойчивость к внешних факторов, меньшие затраты на обслуживание;

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

– возможности использования и переоборудования существующих подземных помещений (при их наличии).

Несомненно, для нашей страны сравнение срока службы сооружений наземного и подземного типа должно осуществляться при условии достижения эквивалентного уровня защиты.

Разработанная методика оценки стоимости жизненного цикла инженерных защитных сооружений для элементов ОКИ применима также к другим типам зданий и сооружений, а также в дальнейшем позволяет определять эффективность и целесообразность выбора тех или иных систем ПВО путем регулирования фактического или прогнозируемого количества попаданий ЗПН, приводящих к повреждениям элементов ОКИ.

6.3. Направления повышения эффективности и дальнейшего развития инженерной защиты объектов критической инфраструктуры от средств воздушного нападения противника

Основными направлениями повышения эффективности инженерной защиты ОКИ в условиях военного положения можно определить следующие.

I. Детализация и учет возможных угроз. В данной монографии внимание вполне оправданно сосредоточено исключительно на ЗПН противника как главной угрозе для ОКИ энергетической отрасли в условиях военного времени. Общий спектр угроз военного времени значительно шире (рис. 6.14). Для реальных ОКИ все они должны быть оценены и учтены при реальном проектировании. Некоторые из них относятся и к мирной эксплуатации ОКИ. Также в будущих исследованиях следует рассмотреть возможные температурные воздействия ЗПН на элементы и защитные сооружения ОКИ, их потенциальное электромагнитное и иное воздействие, учесть прогнозы перспективного развития вооружений противника.

II. Разработка новейших систем инженерной защиты, совершенствование и экспериментальное подтверждение методик их расчетов. Кроме того, с другой стороны, следует рассмотреть перспективные системы инженерной защиты, их роль в системе взаимодействия с другими системами и подсистемами ОКИ. К этому вопросу относятся следующие аспекты:

– изготовление конструкций инженерной защиты из композитных материалов, высокопрочных и сверхпрочных сталей, высокопрочных бетонов;

– внедрение новейших методов изготовления, транспортировки и монтажа конструкций, развитие технологий заглубленного и подземного строительства;

– подготовка соответствующих инженерных и рабочих квалифицированных кадров для работ по определению и управлению угрозами, проектированию систем инженерной защиты и их сооружению;

– совершенствование сопутствующих систем, таких как раннее оповещение, эффективное пожаротушение, оснащение ОКИ автоматизированными системами мониторинга и управления опасностью и т. п.;

– разработка специальных подвижных заполнений проёмов, способных с помощью датчиков своевременно закрываться, выдерживая значительное пиковое внешнее давление и другие угрозы.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПЯ Машинный перевод



Рис. 6.14. Спектр угроз военного времени [30]

Учитывая постоянно растущий характер угроз со стороны средств противовоздушной обороны противника как для энергетической и других отраслей инфраструктуры Украины, так и для многочисленных типов гражданских объектов, целесообразным представляется проведение широкого спектра натурных экспериментов, создание специализированных лабораторий по взрывотехническому исследованию защитных сооружений, материалов и конструкций.

III. Внедрение разработанных методик оценки стоимости ЖЦ сооружений в государственных и частных тендерных закупках. Одним из перспективных направлений внедрения предложенных методик оценки стоимости ЖЦ является их учет в ходе **тендерных закупок**. В частности, с 2020 года в сфере как гражданских, так и оборонных закупок (система «Prozorro») было [31] введено положение, согласно которому «наиболее экономически выгодным тендерным предложением электронная система закупок определяет тендерное предложение, цена которого является самой низкой. Критериями оценки являются: цена, либо **стоимость жизненного цикла**, либо цена в сочетании с другими критериями оценки, связанными с предметом закупки» [32]. Таким образом, у ОПР (владелец, оператор ОКИ и т. п.) появился эффективный фактор для оценки и выбора лучших решений по инженерной защите ОКИ. Однако добровольный характер выбора критерия стоимости ЖЦ, видимая сложность и непрозрачность его расчетов, отсутствие распространенных и ориентированных на пользователя руководств, а особенно специализированных компьютерных инструментов, привели к тому, что стоимость ЖЦ так и не получила распространения в ходе тендерных торгов. Очевидно, следует тщательно поработать над устранением этих недостатков и обязательно учитывать стоимость ЖЦ при выборе систем инженерной защиты или принятии других решений, связанных с финансовыми затратами на безопасность ОКИ. Таким образом, у отечественного проектировщика постепенно появляется нормативно обоснованная возможность применения инструментов оценки ЖЦ, в том числе для

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

рационального выбора конструктивного решения защитных инженерных сооружений в ходе тендерных закупок.

IV. Сбор более подробной статистики и проведение аналитики по поражениям ОКИ, внедрение эффективных методов восстановления элементов ОКИ и их защиты. Во многих случаях каждый ОКИ в Украине и его элементы являются тестовым полигоном для изучения многих параметров современной войны. Сбор информации о составляющих и последствиях поражений ОКИ, внедренный ГШ ВСУ через ДССЗИ с декабря 2022 года, позволил получить решения и методики, представленные в данной монографии. Однако остаются проблемные вопросы, требующие дальнейшего развития:

– тщательный и своевременный сбор более точных данных об ОКИ и последствиях их поражений в рамках взаимодействия между отдельными вовлеченными государственными органами и учреждениями, операторами и другими заинтересованными сторонами;

– создание единой базы данных, «биг-данных», о составляющих ОКИ и их уязвимости к воздействию ЗПН;

– качественный и объективный анализ событий во время повреждений в результате воздушных ударов или чрезвычайных ситуаций на объектах критической инфраструктуры.

В конечном итоге, признание, анализ и переосмысление ошибок позволят реализовать ведущую в мире концепцию «Build–Back–Better» («Строй заново — лучше») в направлении снижения риска для восстановленных и новых объектов (рис. 6.15).

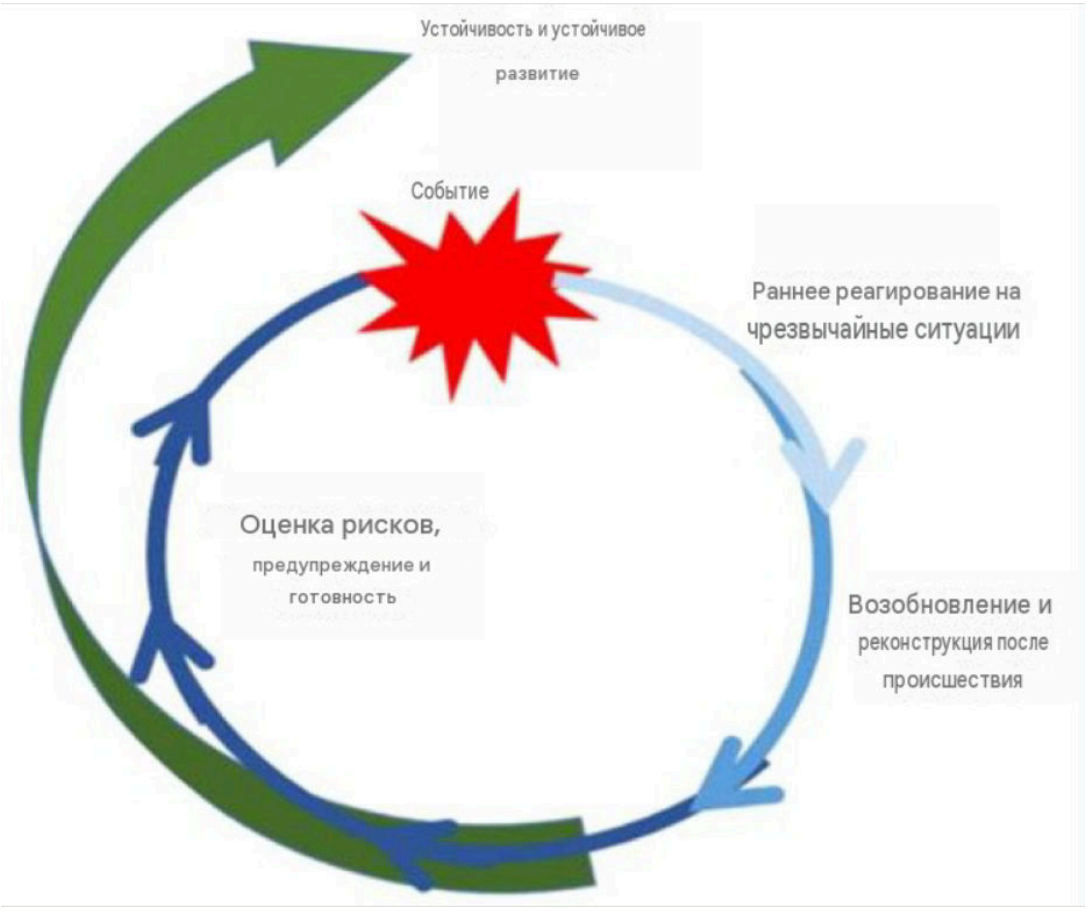


Рис. 6.15. Концепция «Build–Back–Better» в цикле снижения риска [33]

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

Такой подход учитывает опыт выявления слабых мест, организационных и других недостатков, обнаруженных в ходе ЖЦ и анализа повреждений элементов ОКИ [34]. Ремонтопригодность, как компонент надежности, выходит на первый план для сооружений при учете угроз со стороны ЗПН противника.

V. Совершенствование методик оценки и факторов выбора систем инженерной защиты. В данной монографии рассмотрена стоимость жизненного цикла как основной критерий принятия решений в ходе строительства ОКИ. Однако в будущем возможно дополнительно учитывать следующие факторы:

– оценка экологичности ЖЦ;

– адаптивность к новому оборудованию;

– оперативность и экономичность ремонтно-восстановительных работ после попаданий ЗПН и т. п.

Нормативный документ ДСТУ 9171 [13] регламентирует, что 70 % материалов, используемых в сооружениях, в том числе и в защитных сооружениях ОКИ энергетической отрасли Украины, должны иметь возможность повторного использования при замене и/или в последующих жизненных циклах. Это крайне важно, так как в результате поражений происходит допустимое частичное повреждение конструкций сооружений защиты ОКИ, которое может привести к их частой замене, что не должно вызывать значительного количества отходов. Высокая ремонтопригодность элементов защиты ОКИ не только способствует экологичности объекта, но и его живучести и скорости восстановления, а следовательно, минимизации дополнительных потерь из-за остановки оборудования, сохранению защитных свойств после возможных повторных атак ЗПН.

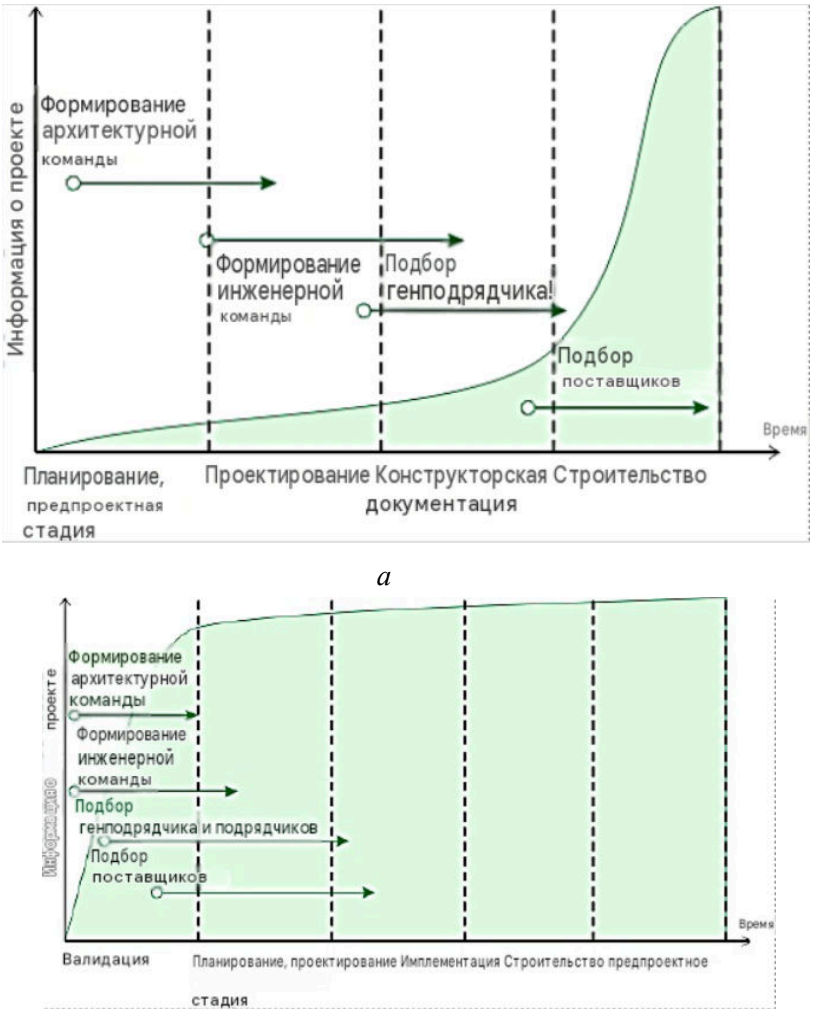
VI. Минимизация отходов и соблюдение принципов циркулярной экономики на протяжении всего жизненного цикла. Согласно требованиям [14], сбалансированное использование природных ресурсов целесообразно учитывать еще на этапе проектирования сооружения путем: создания условий для повышения эффективности проектных решений, в том числе в отношении обеспечения рациональной эксплуатации в течение экономически целесообразного срока; обеспечения возможностей повторного использования или переработки материалов путем утилизации после сноса сооружения; предотвращения экологических проблем. При рассмотрении возможности использования в ходе строительства материалов в проектных решениях по инженерной защите рекомендуется учитывать весь их жизненный цикл, от производства до демонтажа, повторного использования или переработки. Экосистемы во время подготовительных работ, до и после строительства должны быть сохранены или перенесены с восстановлением в полном объеме.

В ходе разработки проектных решений рекомендуется отдавать предпочтение вариантам, способствующим сокращению объема отходов местной промышленности и строительной деятельности. Использование материалов и компонентов, а также технологий их применения рекомендуется осуществлять с минимизацией остатков и отходов, подлежащих утилизации в связи с возможностью создания опасности для окружающей среды и персонала. В ходе использования материалов рекомендуется анализировать возможность сохранения их свойств на протяжении всего жизненного цикла, учитывая повторное использование или переработку.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

При этом необходимо учитывать возможное изменение характеристик на этапах первичного и вторичного использования материалов, возможность изменения назначения и ухудшения свойств вследствие старения.



а

б

Рис. 6.16. Традиционный (*а*) и коллаборативный (*б*) подходы в ходе общего проектирования зданий и сооружений [36]

VII. Устойчивость, типизация и эффективное планирование процессов возведения защитных сооружений. В ходе проектирования следует предусмотреть ремонтопригодность и технологичность ремонтов, возможность оперативных ремонтов защитных конструкций с минимальными затратами ресурсов, наличие ремонтных комплектов и инструментов, обученного персонала. **Устойчивость** — состояние, требующее от человека осуществлять свою деятельность таким образом, чтобы защищать функции экосистемы Земли в целом, которая включает в себя растения и животных, а также людей и их общую физическую среду обитания. В этом смысле планета со всеми её системами и подсистемами — жизненно важная и единственная ОСИ для человечества. Общая цель устойчивости — минимизировать негативные последствия и максимально увеличить положительное воздействие, обеспечивая при этом необходимую экологическую, экономическую, социальную и культурную ценность. Это требует целостного подхода, объединяющего глобальные проблемы, а также цели устойчивого развития и требования с

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

точки зрения функциональности, эффективности и экономичности продукции. Устойчивое развитие в контексте строительства направлено на достижение этих требований без ущерба для долгосрочной устойчивости природной среды, одновременно способствуя улучшению экономических и социально-культурных аспектов на местном, региональном и глобальном уровнях [35].



а



б

Рис. 6.17. Потери от *а* – неопределённости, и *б* – неэффективности при общей реализации зданий и сооружений [36]

Согласно исследованиям, грамотная разработка на этапе планирования позволяет определить **более 66 % стоимости жизненного цикла здания.** Следовательно, современный эффективный подход к проектированию должен уделять особое внимание этапу планирования и предварительного проектирования (preliminary design stage), переходя от традиционного к коллаборативному подходу, когда мощные команды проектирования и поставки объединяются для осмысления и оценки основных функциональных блоков и параметров здания или

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

сооружения еще на ранней стадии. Для этого важны детальная проработка задания и понимание заказчиком всех ценностей проекта и интегральных шагов по его реализации (рис. 6.16). В типичном традиционном проекте неопределенность, в основном вызванная случайными факторами, обычно составляет около 10–15 % стоимости проекта, а в целом неопределенность и неэффективность могут увеличить потери/отходы в стоимости проекта до 30 % (рис. 6.17).

Далее на основе методик оценки ЖЦ может быть разработано специализированное программное обеспечение для оптимального принятия решений в ходе инженерной защиты ОКИ.

VIII. Непрерывный мониторинг состояния и совершенствование систем защиты. Для повышения уровня защищенности ОКИ от факторов поражения ЗПН противника необходимо осуществлять непрерывный мониторинг и оценку состояния и степени инженерной защиты элементов ОКИ на местах. При этом предлагаются следующие критерии оценки состояния защищенности объекта критической инфраструктуры:

– процент выполненных мер защиты для элементов ОКИ, требующих первого уровня защиты;

– процент выполненных мер инженерной защиты для элементов ОКИ, требующих второго уровня защиты;

– процент выполненных мер защиты для элементов ОКИ, требующих третьего уровня защиты;

– техническое состояние ИЗ для элементов ОКИ, требующих первого уровня защиты (при наличии);

– техническое состояние СИ для элементов ОКИ, требующих второго уровня защиты (при наличии);

– техническое состояние средств маскировки для элементов ОКИ, требующих третьего уровня защиты (при наличии);

– наличие, степень выполнения мероприятий и состояние средств маскировки и имитации элементов ОКИ, отсутствие демаскирующих признаков элементов ОКИ;

– эффективность системы ПВО на ОКИ (соотношение общего количества сбитых БПЛА к количеству направленных противником на ОКИ, а также отдельно соотношение общего количества сбитых ракет к количеству направленных противником на ОКИ, если такие случаи имели место);

– наличие и степень выполнения мер по светомаскировке элементов ОКИ;

– наличие паспорта защиты ОКИ, своевременность и информативность заполнения информационных чек-листов относительно перечня уязвимых элементов ОКИ и результатов попаданий в них ЗПН противника, если такие случаи имели место;

– средние человеческие потери после каждого попадания отдельно БПЛА и отдельно ракеты противника, если такие случаи имели место;

– средние прямые денежные потери ОКИ после каждого попадания отдельно БПЛА и отдельно ракеты противника, если такие случаи имели место (процент падения мощности, ориентировочная оценочная стоимость восстановления);

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

– среднее время остановки и время на восстановление ОКИ после каждого попадания отдельно БПЛА и отдельно ракеты противника, если такие случаи имели место (время на восстановление основных функций ОКИ по временной схеме и время на полное восстановление ОКИ);

– наличие, достаточность по вместимости и техническое состояние укрытий для личного состава и работников ОКИ;

– наличие запасных частей и ремонтных комплектов, сил и средств для оперативного восстановления и замены элементов ОКИ и конструкций сооружений ИЗ;

– наличие дублирования пунктов управления в отдельных защищенных сооружениях;

– состояние физической защиты периметра, качество организации и функционирования блокпостов, защищенность ОКИ от возможных терактов, в том числе от применения автомобилей со взрывчаткой, применения стрелкового оружия, горючих веществ, дронов-квадрокоптеров и т. п.;

– наличие и техническое состояние противопожарных систем, время срабатывания и эффективность при возможных факторах поражения ЗПН противника.

Совершенствование систем ИЗ предусматривает их перестройку и научно-конструкторские изыскания для повышения уровня и степени защищенности, замену на более современные и новые конструкции, системы, учитывающие современные данные о факторах поражения ЗПН противника.

При реконструкции и ремонте существующих систем ИЗ первого уровня, в частности, рекомендуется:

– заменять защиту из бигбегов, мешков с песком и бетонных блоков на более надёжные системы защиты из габионов, заполненных песком (песком с щебневым отсевом) или аналогичные по эффективности конструкции;

– возводить габионные защитные конструкции в потенциально незащищенных местах (на углах, в просветах и т. п.) для обеспечения равномерной защиты;

– увеличивать высоту существующих габионных конструкций путем их достройки с учётом рекомендаций компании «Hesco» (Великобритания) [46] и технологических зазоров до проводов, оборудования и в соответствии с требованиями электротехнической безопасности (рис. 6.18).

В конечном итоге, для совершенствования необходим постепенный переход от первого ко второму уровню защиты и далее — к третьему уровню защиты элементов ОКИ.

Во всех случаях следует предусматривать выравнивание потенциалов и заземление конструкций инженерной защиты, молниезащиту; необходимые меры по огнезащите и пожарной техногенной безопасности.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод



Рис. 6.18. Пример принципиальной схемы сечения предлагаемого увеличения высоты защитной конструкции первого типа защиты с использованием габионов для отдельно расположенного оборудования

Для введения противника в заблуждение можно скрывать свои преимущества или, наоборот, преувеличивать их. Скрытие преимуществ — это меры по маскировке и созданию ложных целей. Для систем защиты следует предусматривать специальные инженерные меры по маскировке нового оборудования и установок, в том числе в тепловом спектре: защитная окраска, накрытие маскировочными сетками (для сооружений первого, второго уровня); засаживание обсыпки травой, кустарником (для сооружений третьего уровня). Установка угловых отражателей, макетов, сгоревшей техники под видом рабочей, прокладка ложных путей, линий электропередач и т. п. — дополнительные меры по введению противника в заблуждение, которые могут спасти элементы ОКИ в ходе разведки и выбора противником целей, а также непосредственно во время воздушной атаки. Для противодействия оптико-электронным средствам наведения ракет противника рекомендуется использовать средства маскировки, перемещать критические элементы как можно дальше от их исходного, известного местонахождения. Для противодействия инфракрасным средствам наведения ракет противника рекомендуется использовать специальные дымовые завесы, защитные мультиспектральные экраны и т. п. Эти меры должны быть приняты ещё на этапе подготовки площадки и строительства. Преувеличение преимуществ, если их невозможно скрыть, относится к вопросам информационной политики и стратегических коммуникаций, то есть распространение преднамеренной информации об абсолютной защищенности 100 % ОКИ с соответствующими нарративами и контентом, предназначенными для противника, который из-за таких действий может отказаться от замыслов атаковать ОКИ или пытаться наращивать избыточный боевой потенциал, тратя на это дополнительные ресурсы.

Перспективные научные исследования в будущем следует направить на разработку типовых технических решений для защиты специализированных ОКИ и их элементов, на уточнение технологических требований и особенностей проектирования, на натурные эксперименты по уточнению защитных толщ сооружений и их составляющих.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

ПОСЛЕСЛОВИЕ

Представленная монография охватывает лишь часть инженерных аспектов защиты ОКИ от факторов поражения ЗПН, относящихся к энергетической отрасли Украины. Монография написана в период полномасштабной фазы войны, поэтому вполне возможно, что к моменту её выхода в свет некоторые данные и сведения уже устареют. Однако сами принципы и методики расчетов, проиллюстрированные в работе, применимы для оценки угроз и критичности элементов ОКИ, определения основных конструктивных параметров сооружений и сравнительного анализа в ходе принятия решений по выбору наилучшего варианта инженерной защиты.

Основными проблемами, которые на момент написания книги остаются в сфере защиты ОКИ энергетической отрасли от факторов поражения ЗПН противника, являются:

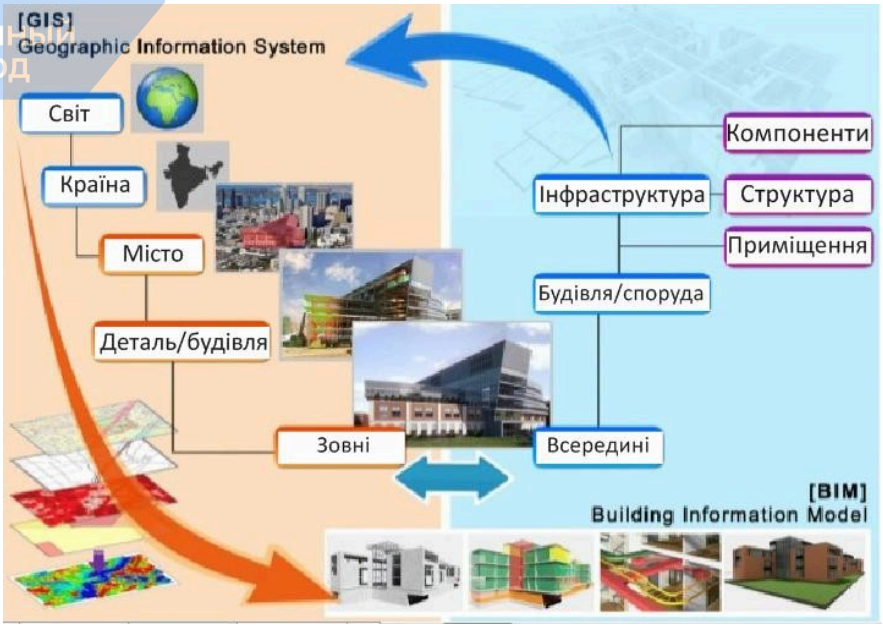
- наращивание противником, несмотря на международные санкции, мощностей производств и, соответственно, количества ЗПН при атаках на ОКИ энергетической отрасли Украины;
- низкая предсказуемость технологического развития и совершенствования ЗПН противника, а следовательно, и действия факторов поражения;
- сложность прогнозирования действий противника и, соответственно, требований к сооружениям инженерной защиты объектов критической инфраструктуры;
- значительная централизация и концентрация объектов критической инфраструктуры энергетической отрасли Украины, сложность замены объектов критической инфраструктуры или их отдельных элементов из-за их привязки к другим видам инфраструктурной сети в стране.

Перспективой дальнейшего развития отрасли защиты ОКИ Украины является, в частности, цифровизация инфраструктуры, которая включает в себя: построение единой компьютерной модели инфраструктуры за счет привлечения технологий BIM (Building Information Modelling) и оцифровку ОКИ [8] путем лазерного сканирования; интеграцию с геоинформационными (ГИС) системами. Это позволит точнее прогнозировать последствия поражения ОКИ, своевременно усиливать и планировать применение систем инженерной защиты, анализировать и целенаправленно повышать их эффективность. Перспективным направлением развития концепции «Страна-крепость» является организация специальной информационной системы, которая будет динамически учитывать параметры ОКИ, в частности их категории критичности, что позволит проектировать и обосновывать эффективные технические решения инженерной защиты (рис. 6.19).

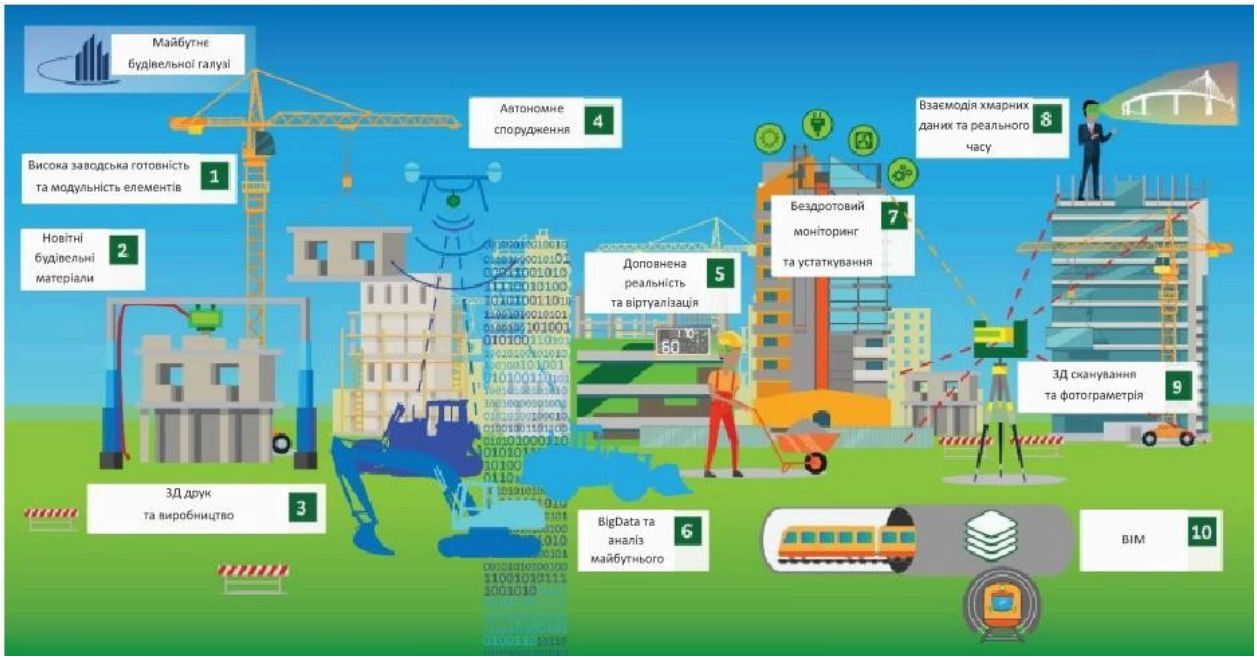
Таким образом, более широкое применение систем поддержки принятия решений на основе компьютерного анализа единой сети ОКИ, использование моделей оценки потерь ЖЦ — может позволить точнее устанавливать и прогнозировать потери после поражения ЗПН противника и определять направления для отраслей, государственной системы в целом, в том числе более экономно проектировать инженерную защиту соответствующего уровня и размещения.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод



а



б

Рис. 6.18. Перспективная интеграция ВИМ и ГИС (*а*) [47], будущие ожидаемые технологии в сфере строительства инженерных систем, в том числе защиты ОКИ (*б*) [48]

В мире для оценки ОКИ уже используются расширенные инструменты риск-ориентированного подхода, такие как динамические модели ввода-вывода (затрат-выходов) неработоспособности Input-Output (DIIM), нейросети и т. п. Неработоспособность при этом определяют как интегральный параметр, пропорциональный степени нарушения функциональности инфраструктуры по отношению к её идеальной работе [37, 38, 39]. Так установлено, что с точки зрения экономических потерь при поражении энергетической инфраструктуры больше всего страдает производственный сектор, поскольку он не только в значительной степени зависит от электроэнергии, но и вносит наибольший вклад в ВВП [40].

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

Электротранспорт, такой как метро, трамваи, троллейбусы, важен для крупных городов, кроме того, растёт доля частного электротранспорта. Примером служат перебои в движении метро, введение автобусных маршрутов вместо трамваев и троллейбусов в крупнейших городах Украины зимой 2022 года. Уже развиты и продолжают совершенствоваться автоматизированные системы контроля и управления движением и перевозками. Эффективная логистика становится всё более зависимой от электроэнергетики, а логистика — залог военных успехов. В случае возникновения любого серьезного сбоя или кризиса восстановление ОКИ имеет жизненно важное значение для содействия восстановлению экономических секторов, поскольку ключевые отрасли — электроэнергетика, водоснабжение, телекоммуникации и транспорт — не имеют немедленной замены [41]. В дополнение к сокращению времени на восстановление, повышение устойчивости секторов критической инфраструктуры может уменьшить общие экономические потери [42]. Хотя повышение устойчивости может привести к потере эффективности, современные взгляды [43] выступают за сбалансирование этих двух аспектов для улучшения общественного благосостояния.

Выбор рациональных сооружений и конструкций инженерной защиты ОКИ с помощью критериев ЖЦ не только позволяет сэкономить средства для лучшего оснащения ОКИ, активных систем прикрытия и других мер обороны, но и способствует достижению целей устойчивого развития, что дает экономические и технологические преимущества в долгосрочной перспективе.

Таким образом, концепция «Страна-крепость», в конечном счете, должна воплощать в жизнь принципы круговой экономики [8] – экономической системы, направленнойна сокращение образования отходов и выбросов углерода, а также на сокращение использованияприродных ресурсов за за счёт повторного использования материалов. Дальнейшим развитием оценки эффективности инженерной защиты ОКИ является также экологическая оценка решений по критериям ЖЦ [8, 13]. В частности, в уже упомянутом выше Руководстве ДСТУ 9171 [13] приведены критерии рационального использования природных ресурсов в процессе реконструкции зданий и сооружений, в том числе защитных. Три составляющие устойчивого развития – экологическая, социальная и экономическая – являются необходимыми элементами системного подхода для определения устойчивости использования и развития методов строительства. Также в ДСТУ 9171 присутствует методика расчета экологической оценки ЖЦ, которая пригодна, в том числе, для ОКИ энергетической отрасли и основана на суперкритерии присоединенного углерода. Для первоначального анализа рекомендуемый ориентировочный допустимый диапазон присоединенного углерода может быть взят для сооружений второго уровня защиты – 450..950 кг $CO_2/м^2$, а для сооружений третьего уровня защиты – 550..1000 кг $CO_2/м2$. Отдельно в составе потерь следует учитывать косвенные убытки, в том числе от неполучения экосистемных услуг [44]. Например, экологическая катастрофа мирового масштаба после разрушения противником плотины Каховской ГЭС в 2023 году в очередной раз продемонстрировала уязвимость незащищенных крупных надземных, централизованных ОКИ. По экспертным оценкам, на восстановление Каховской ГЭС после победы потребуется не менее 10 лет, что также указывает на низкую ремонтопригодность сложных объектов энергетической инфраструктуры в условиях

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

факторов опасности военного времени. Прямые потери при этом оцениваются не менее чем в 1,5 млрд долл., а косвенные — более 10 млрд долл. [45].

На момент написания этой книги концепция «Страна-крепость» была утверждена на государственном уровне Министерством энергетики, а Типовые решения по инженерной защите, разработанные при участии авторов, были рассмотрены и одобрены к применению Кабинетом Министров Украины. Интересно, что ряд независимых программ в Украине также пришли к семантике крепости как символа организованной системной защищенности (рис. 6.20).



Рис. 6.20. Логотип программы «Страна-крепость», логотип программы «Моя маленькая крепость» для укрытий гражданской защиты в школах и логотип стратегии НБУ «Финансовая крепость», которые были разработаны независимо друг от друга в 2023 году

Предполагается, что полная реализация предложенной концепции «Страна-крепость» будет способствовать:

- формированию единого государственного системного подхода к инженерной защите ОКИ;
- налаживанию эффективного взаимодействия между всеми субъектами инженерной защиты ОКИ энергетической отрасли;
- выработке единого механизма организации мероприятий инженерной защиты, проектирования и строительства соответствующих сооружений с учетом технологических требований энергетической отрасли;
- поэтапному переходу к инженерной защите критической инфраструктуры с подземной урбанизацией и адаптацией технологий соответствующих производственных процессов;
- минимизации последствий массированных ударов ВВС противника по ОКИ;
- обеспечению устойчивого функционирования энергетической системы Украины в условиях внешних угроз и действий противника.

Очевидно, что комплексным ответом на угрозы является как укрепление систем ПВО и инженерной защиты ОКИ, так и диверсификация энергетической отрасли, децентрализация и её системный переход на распределённые и приближённые к месту нахождения потребителей возобновляемые источники энергии. Это позволит «размыть» энергетическую отрасль на достаточно большой территории Украины, что лишит смысла атаки ЗПН противника, а саму отрасль сделает менее уязвимой. Защищенная, экологичная энергетическая отрасль — это не только важная составляющая победы, но и ключ к восстановлению Украины как оборонной демократии нового типа, страны устойчивого развития, готовой к серьезным вызовам будущего.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ:

К Введению и Разделу 1

1. Залужный В., Забродский М. Перспективы обеспечения военной кампании 2023 года: украинский взгляд/ УКРИНФОРМ, URL: https://www.ukrinform.ua/rubric-ato/3566162-ak-zabezpeciti-voennu-kampaniu-u-2023-roci-ukrainskij-poglad.html Дата обращения: 07.09.2022.
2. Коваль М.В., Коваль В.В., Коцюруба В.И., Билык А.С. Организационно-технические основы построения системы инженерной защиты объектов критической инфраструктуры энергетической отрасли Украины // «Наука и оборона», 2023 — С. 11–16
3. Коцюруба В.И., Билык А.С. Концепция «Страна-крепость» как составляющая национальной безопасности Украины / Тезисы докладов, 2023. – С. 52–53
4. Коцюруба В.И., Билык А.С. Основные принципы физической защиты объектов критической инфраструктуры Украины в соответствии с концепцией «Страна-крепость» / Тезисы докладов – Львов, 2023 – С. 9–10
5. Билык А.С., Коцюруба В.И. Концепция национальной безопасности Украины «Страна-крепость» в ракурсе защиты критической инфраструктуры / Здания и сооружения специального назначения: современные материалы и конструкции, Тезисы докладов, 2023. – С. 16–17
6. Украина и США готовят совместную программу сотрудничества по декарбонизации и устойчивому развитию украинской энергетики. URL: https://mind.ua/news/20255869-ukrayina-ta-ssha-gotuyut-spilnu-programu-spivpraci-z-dekarbonizaciyi-ta-stalosti-ukrayinskoyi-energetik. Дата обращения: 01.09.2023.
7. Структура электрогенерации в Украине и её связь с тарифами на электроэнергию. URL: https://tek.energy/news/struktura-elektrogeneratsii-v-ukraini-ta-ii-zvyazok-iz-tarifami-na-elektroenergiyu. Дата обращения: 01.09.2023.
8. Украина в 2021 году увеличила производство электроэнергии на 5,2%, потребление — на 5,7% — обзор. URL: https://ua.interfax.com.ua/news/greendeal/790844.html. Дата обращения: 01.09.2023.
9. ДТЭК запустил первую в Украине промышленную систему накопления энергии. URL: https://dtek.com/media-center/news/dtek-zapustil-pervuyu-v-ukraine-promyshlennuyu-sistemu-nakopleniya-energii/. Дата обращения: 01.09.2023.
10. Проведение II Всеукраинского энергетического съезда — путь к восстановлению и развитию энергетической отрасли Украины. URL: https://lb.ua/blog/ivan_plachkov/550605_provedennya_ii_vseukrainskogo.html. Дата обращения: 01.09.2023
11. Украинская нефтегазовая энциклопедия / под общ. ред. В. С. Иванишина. – Львов: Сполом, 2016. – 603 с.
12. Газотранспортная система Украины. URL: https://gaszbut.com.ua/blog/gazotransportna-sistema-ukraini. Дата обращения 01.09.2023
13. Газотранспортная система Украины – обзор. URL: http://ukrexport.gov.ua/ukr/prom/ukr/19.html. Дата обращения: 01.09.2023.
14. Из истории нефтегазовой промышленности Украины. URL: https://www.naftogaz.com/history-of-the-industry. Дата обращения: 01.09.2023.
15. Убытки энергетики Украины приближаются к критической точке, – еврокомиссар – 11/2022. URL: https://fakty.ua/410930-ucsherb-energetike-ukrainy-priblizhaetsya-k-kriticheskoj-tochke---evrokomissar. Дата обращения: 01.09.2023.
16. Тепловая электростанция // Универсальный словарь-энциклопедия. – 4-е изд. – К. : Тека, 2006. – 1432 с.
17. Справочник по проектированию электрических сетей / Под редакцией Д. Л. Файбисовича. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006. – 376 с.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

18. Шмиг Р. А., Боярчук В. М., Добрянский И. М., Барабаш В. М.; под общ. ред. Шмига Р. А. Инфраструктура // Терминологический словарь-справочник по строительству и архитектуре – Львов, 2010. – С. 104.

19. Воздушная мощь и последствия глобализации: переосмысление «пяти колец» /URL: https://ndupress.ndu.edu/Publications/Article/577506/airpower-and-globalization-effects-rethinking-the-five-rings. Дата обращения 01.09.2023.

20. Закон Украины «О критической инфраструктуре». Редакция от 05.12.2022 / URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1882-20#Text. Дата обращения 01.09.2023.

21. Закон Украины «Об основных принципах обеспечения кибербезопасности Украины» от 5 октября 2017 года / URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2163-19. Дата обращения: 01.09.2023.

22. Карта ударов по украинской энергосистеме / URL: https://texty.org.ua/fragments/108481/karta-udariv-po-ukrayinskij-enerhosystemi. Дата обращения 01.09.2023.

23. Бирюков Д. С. Защита критической инфраструктуры: проблемы и перспективы внедрения в Украине / Д. С. Бирюков, С. И. Кондратов. – К. : НИСД, 2012. – 96 с.

24. Льюис, Т. Г. Защита критически важной инфраструктуры в рамках национальной безопасности: защита сетевого государства. — Нью-Джерси: John Wiley & Sons, 2006. — 474 с.

25. Постановление КМУ от 9 октября 2020 г. № 1109 «Некоторые вопросы объектов критической инфраструктуры». URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/1109-2020-%D0%BF#n89. Дата обращения: 01.09.2023.

26. Приказ № 23 от 15.01.2021 Администрации государственной службы специальной связи и защиты информации Украины. URL: https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0023519-21#n10. Дата обращения: 01.09.2023.

27. Постановление КМУ от 27 декабря 2022 г. № 1482 URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1482-2022-%D0%BF#Text. Дата обращения: 01.09.2023.

28. Ерменчук О.П. Основные подходы к организации защиты критической инфраструктуры в странах Европы: опыт для Украины: монография. / О.П. Ерменчук. – Днепр: Днепропетровский гос. ун-т внутренних дел, 2018. – 180 с.

29. Национальный исследовательский совет 1998. Использование подземных сооружений для защиты критически важных инфраструктур: резюме семинара. Вашингтон, округ Колумбия: The National Academies Press. URL: https://doi.org/10.17226/6285. Дата обращения 01.09.2023.

30. ДБН В.1.2-14:2018 Система обеспечения надёжности и безопасности строительных объектов. Общие принципы. – К.: Министерство регионального развития, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Украины, 2018. – 36 с.

31. Беннетт, Брайан Т. (2007). Понимание, оценка и реагирование на терроризм: защита критически важной инфраструктуры и персонала (изд. 2007 г.). John Wiley & Sons. ISBN 978-0-471-77152-4. – 466 с.

32. Gaijinass (11 марта 2010 г.). «Матрица CARVER: тактический анализ целей». gaijinass. Проверено 23 марта 2010 г. URL: http://gaijinass.wordpress.com/2010/03/11/carver-matrix-tactical-target-analysis. Дата обращения: 01.09.2023.

33. Горбенко В.М., Коршец О.А., Королюк Н.О., Оценка возможных механизмов достижения Российской Федерацией политических целей в Украине с использованием концепций стратегического паралича и операций на основе эффектов / Сборник научных трудов Харьковского национального университета Воздушных Сил, 2020, № 1(63) – С. 113–123.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

К разделу 2

1. Животовский Р. М., Шинкарук О. М., Яковлев М. Ю., Варсегов А. С., Анализ крылатых ракет воздушного базирования РФ в войне против Украины 2022 года. − URL: https:doi.org/1034169/2414-0651.2022.1 (33) Дата обращения: 01.09.2023.

2. Тимофеев И. Авиационные крылатые ракеты: кто впереди? − URL: https://dfnc.ru/popular1/aviatsionnye-krylatyerakety-kto-vperedi. Дата обращения 01.09.2023.

3. «Искандер», «Калибр», серия Х. Какими ракетами Россия наносит удары по Украине. 7.7.2022 г. URL: https://www.rbc.ua/ukr/news/iskander-kalibr-seriya-h-kakimi-raketami-1657117961.html. Дата обращения: 01.09.2023.

4. Ракеты России 10.08.2021. URL: https://missilethreat.csis.org/country/russia. Дата обращения: 01.09.2023.

5. Мануйленко В.Г., Удин Е.Г., Теоретические основы крылатых управляемых ракет – СПб: Университет ИТМО, 2020. – 201 с.

6. Форсс С. Российская оперативно-тактическая ракетная система «Искандер» / Национальный университет обороны, Кафедра стратегических и оборонных исследований; Серия 4: рабочие документы № 42, Хельсинки, 2012 г. – 26 с.

7. Украина под обстрелом российских ракет: как обеспечить защиту (анализ). 7.4.2022 г. URL: https://defence-ua.com/weapon_and_tech/ukrajina_pid_obstrilom_rosijskih_raket_chim_zabezpechiti_zahist_an aliz-6772.html. Дата обращения 01.09.2023.

8. Что россияне прячут в «Кинжалах»: эксперт разоблачил «гиперзвуковое» оружие РФ. – URL: https://www.unian.ua/weapons/shcho-rosiyani-hovayut-u-kindzhalah-rf-progovorilasya-pro-nachinku-analogiv-raket-12253125.html. Дата обращения 01.09.2023.

9. Harlin W.J., Cicci David A. Прогнозирование траектории баллистической ракеты с использованием матрицы переходов состояний / Applied Mathematics and Computation 188 (2007) — с. 1832–1847.

10. Сказание об «Искандере», или Как работает тактический ракетный комплекс /2021 URL: https://naked-science.ru/article/tech/raketa-iskander. Дата обращения 01.09.2023.

11. Письмо Генерального штаба Вооруженных сил Украины № 300/1/С/6004 от 15.05.2023. Характеристики средств воздушного нападения противника (ракет и БПЛА типа «баражующий боеприпас»).

12. Технический отчет о БПЛА, предположительно Shahed-136 / Секретный доклад FIT UK по Украине. – 10 с.

13. «Самоубийственные дроны», связанные с Ираном — URL: https://www.newsweek.com/suicide-drones-linked-iran-have-made-their-way-yemen-rebels-photos-suggest-1628204. Дата обращения: 01.09.2023.

14. Уроки российско-украинской войны 2022 года: военные аспекты (Информационно-аналитические материалы. Отчет № 24) Анализ опыта применения беспилотных летательных аппаратов иранского производства в российско-украинской войне и рекомендации по борьбе с ними 19.03.2022 № 6131 – 69 с.

15. Сотовый Nomex (технические характеристики) – URL: http://ua.haxcorematerial.com/honeycomb-core/nomex-honeycomb/nomex-honeycomb-core.html. Дата обращения: 01.09.2023.

16. Ткани из стекловолокна для армирования пластмасс (технические условия) – URL: https://www.swiss-composite.ch/pdf/t-Glas-105g-Koeper-91111-e.pdf. Дата обращения: 01.09.2023.

17. Информационно-аналитический материал об использовании беспилотных летательных аппаратов Российской Федерации Shahed-136 («Geraniun-2»), Shahed-129 и Mohajer-6. (подтверждено заместителем начальника Генерального штаба Вооруженных сил Украины 29.09.2022) Киев. Воинская часть А4629. – 18 с.

18. Многоцелевые иранские боевые части беспилотников, использованные в Украине в феврале 2023 года – URL: https://storymaps.arcgis.com/stories/f5070c1d8ff8451c9a99138a3b70232d. Дата обращения: 01.09.2023.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

19. Анализ иранских дронов, применяемых Россией в Украине, 11-2022 — URL: https://bulgarianmilitary.com/2022/09/23/confirmed-russia-uses-swarming-shahed-136-loitering-munition. Дата обращения: 01.09.2023.

20. Техническое описание «Шахедов» из польского журнала «Wojsko i Technika». URL: https://atez72.blogspot.com/2023/03/blog-post_68.html?fbclid=IwAR2efQEYW9lTpHyzZskWs_dFsrkAt9PlS3nSdetiakCVz8NFukinMFopErU&m=1. Дата обращения: 01.09.2023.

21. Залужный показал карту полета ракет, которые российские оккупанты запускали 10 октября. URL: https://amp.donpatriot.news/zaluzhnyj-pokazav-kartu-polotu-raket-iaki-rosijski-okupanty-zapuskaly-10-zhovtnia. Дата обращения: 01.09.2023.

22. Российский ВПК набирает обороты. Откуда берутся деньги и кто помогает РФ строить ракеты? URL: https://www.epravda.com.ua/publications/2023/05/29/700580. Дата обращения: 01.09.2023.

23. Сколько ещё «Шахидов» есть у России и почему нельзя сообщать о работе ПВО? URL: https://rudana.com.ua/news/skilky-shche-shahidiv-maye-rosiya-i-chomu-ne-mozhna-spovishchaty-pro-robotu-pro. Дата обращения: 01.09.2023.

24. Откуда Россия берет «Шахиды». Интервью с расследователем, разоблачившим фабрику в Татарстане. URL: https://glavcom.ua/interviews/de-rosija-bere-shakhedi-intervju-z-rozsliduvachem-jakij-vikriv-fabriku-u-tatarstani-940376.html. Дата обращения: 01.09.2023.

К Разделу 3

1. Harle, J.C. (1994). Искусство и архитектура Индийского субконтинента (2-е изд.). Хармондсворт, Мидлсекс, Англия: Penguin Books – 40 с.

2. Ли Л. Х., Ян Ц. Ф., Юэ Ц. Ц., Чжан Л. Ц. Инженерно-геологические характеристики, виды разрушений и меры защиты скальных пещер Лунъю, возраст которых составляет 2000 лет. // Журнал «Tunnelling and underground space technology», 2009, т. 24, № 2, с. 190–207.

3. Данн К. Потерянные технологии древнего Египта: передовые инженерные решения в храмах фараонов, 2010. – 400 с.

4. Билык А.С., Коваленко Е.Ю., Петров С.О. Трибологический и химический анализ образцов обработанного базальта из комплекса Варангал в Индии и гипотетические возможности технологий древнейших цивилизаций // Аномальные явления: методология и практика исследований: сб. науч. трудов / под общ. ред. А.С. Билика. – К.: Знание, 2020. С. 147–165.

5. Э.Д. Фролов. Рождение греческого полиса. Издание второе. СПб.: Изд. дом СПбГУ, 2004. – 266 с.

6. Жан-Пьер Пануйе, «Каркассон: история и архитектура», Ренн: Ouest-France, 1999, ISBN 978-2-7373-2194-8, с. 7.

7. Национальный исследовательский совет 1998. Использование подземных сооружений для защиты критически важных инфраструктур: резюме семинара. Вашингтон, округ Колумбия: The National Academies Press. URL: https://doi.org/10.17226/6285. Дата обращения: 01.09.2023.

8. Президентская комиссия по защите критически важной инфраструктуры, «Критические основы: защита инфраструктуры Америки», отчёт, октябрь 1997 г., с. 9–10

9. Лингер Д. А., Бейкер Г. Х., Литтл Р. Г. Применение подземных сооружений для физической защиты критически важной инфраструктуры / North American Tunneling 2002, Оздемир (ред.) © 2002.

10. Подземные электростанции подземная – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Underground_power_station. Дата обращения 01.09.2023.

11. State Grid of China запускает крупнейшую в мире гидроаккумулирующую станцию – URL: https://www.pv-magazine.com/2022/01/04/state-grid-of-china-switches-on-worlds-largest-pumped-hydro-station. Дата обращения: 01.09.2023.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

12. Ерменчук О.П. Основные подходы к организации защиты критической инфраструктуры в странах Европы: опыт для Украины: монография. / О.П. Ерменчук. – Днепр: Днепропетровский гос. ун-т внутренних дел, 2018. – 180 с.

13. Рогозин А.С., Росоха О.М. Методические рекомендации к самостоятельной работе, проведению практических занятий по дисциплине «Инженерная защита населения и территории» / – Харьков: ХНУМГ им. А.М. Бекетова, 2018. – 77 с.

14. Трофименко П.Е., Сорокоумов Г.В., Демидко Л.С. Основы инженерной подготовки, тактической маскировки и радиационной, химической и биологической защиты в артиллерийских подразделениях: учебник. – Сумы: СумГУ, 2021. – 266 с.

15. J.Nagel, J.Schanzer. Оценка израильской системы противоракетной обороны «Железный купол» / FDD, 13 ноября 2019 г. – URL: https://www.fdd.org/analysis/memos/2019/11/13/assessing-israels-iron-dome-missile-defense-system. Дата обращения: 01.09.2023.

16. Коцюруба В.И., Билык А.С. Основные принципы физической защиты объектов критической инфраструктуры Украины в соответствии с концепцией «Страна-крепость» / Тезисы докладов – Львов, 2023 – С. 9–10

17. Билык А.С., Коцюруба В.И. Концепция национальной безопасности Украины «Страна-крепость» в ракурсе защиты критической инфраструктуры / Здания и сооружения специального назначения: современные материалы и конструкции, Тезисы докладов, 2023. – С. 16–17

18. Методические рекомендации по инженерной защите основных элементов отдельных объектов критической инфраструктуры энергетической отрасли (ГЭС-ГАЭС, ТЭС, подстанций ПС330 кВ, ПС750 кВ, газотранспортных систем) Украины от поражения средствами воздушного нападения противника Генеральный штаб Вооруженных сил Украины, 4-е издание, уточненное и дополненное КИЕВ – 2023. – 50 с.

19. FM 5-103: Survivability, 1985. – 257 с.

20. Постановление Кабинета Министров Украины № 929 от 29.08.2023 г. «Об утверждении типовых решений по инженерной защите критических элементов объектов критической инфраструктуры Украины от поражения средствами воздушного нападения противника» – 2 с.

21. Руководство по строительству HESCO v2, 2011. – 160 с.

22. Blast Effects on Buildings / Д. Корми, Г. Мэйс, П. Смит, ICE Publishing, 2020 г. – 335 с.

23. Коцюруба В.И., Билык А.С. и др. Методика расчетов и обоснование требований к инженерной защите объектов критической инфраструктуры от БПЛА типа «баражирующий боеприпас» / Прочность материалов и теория сооружений / Strength of Materials and Theory of Structures. 2022. № 109 – С. 164–183.

24. Underground Space Planning R.K. Goel, ... Jian Zhao, в Underground Infrastructures, 2012 — URL: https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/underground-space. Дата обращения 01.09.2023.

25. Билык А.С. Сталь в реконструкции зданий – К.: УЦСБ, 2018 – 176 с.

26. ДБН В.1.2-14:2018 «Общие принципы обеспечения надежности и конструктивной безопасности зданий и сооружений» с изменениями. — 36 с.

К Разделу 4

1. ДСТУ 8768:2018 «Двутавры стальные горячекатаные. Сортамент». – 8 с.

2. Уравнение состояния и прочностные свойства отдельных материалов. Стейнберг Д. Дж. LLNL. Февраль 1991 г. – 11 с.

3. LA-4167-MS. 1 мая 1969 г. Избранные уравнения Хугонио: 7-й Международный симпозиум по баллистике. Johnson + Cook. – 13 с.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

К разделу 5

1. ДБН В.1.2-14:2018 «Общие принципы обеспечения надежности и конструктивной безопасности зданий и сооружений» с изменениями. – 36 с.
2. ДБН В.1.2-2:2006 «Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования». – 75 с.
3. Билык А. С. Сравнение методов расчета металлических каркасов высотных зданий на единичную живучесть / А. С. Билык, А. И. Коваленко // Сборник научных трудов Украинского института стальных конструкций имени В. М. Шимановского, 2015. - Вып. 16. – С. 30–39.
4. ДБН В.1.1-7:2016 «Пожарная безопасность объектов строительства. Общие требования». – 47 с.
5. ДСТУ-Н-П Б В.1.1-29:2010 «Защита от пожара. Огнезащитная обработка строительных конструкций». – 9 с.
6. Балаганский И.А., Мержиевский Л.А. Оценка воздействия ударных волн. Действие средств поражения и боеприпасов. Новосибирск: НГТУ, 2004. – С. 216.
7. Гордеев В.Н., Лантух-Лященко А.И., Пашинский В.А., Перельмутер А.В., Пичугин С.Ф. Воздействие промышленных взрывов. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения. Справочное пособие. Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. – С. 390.
8. Наставление для инженерных войск ПФ-43, ч. 2. 1946. – 363 с.
9. Linger D. A., Baker G.H., Little R.G. Применение подземных сооружений для физической защиты критически важной инфраструктуры / North American Tunneling, Ozdemir (ред.) – 2002. – 7 с.
10. Бирбраер А. Н. Экстремальные воздействия на сооружения / А. Н. Бирбраер, А. Ю. Роледер. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 594 с.
11. IATG 01.80 Формулы для управления боеприпасами / 2021. URL: https://data.unsaferguard.org/iatg/en/IATG-01.80-Formulae-ammunition-management-IATG-V.3.pdf. Дата обращения 01.09.2023.
12. Учебник сапера. − «Воениздат», 2001 − 78 с.
13. П.Н. Дерябин, М.Н. Краснов, А.А. Ганин. Индексация и маркировка боеприпасов артиллерии: Учебное пособие/П. Н. Дерябин, М. Н. Краснов, А. А. Ганин. – 3-е изд., перераб. и доп. – Пенза: ПАИИ, 2004. – 45 с.
14. Kaufmann; et al. (2004). «Баллистические характеристики моноблочных и оболочечных проникающих боеприпасов среднего калибра против композитной брони и разнесённых мишеней». Armor and Impactor Studies. − 9 г.
15. Бисик С.П., Миронов Я.А. Исследование взаимодействия боевой части гранаты РПГ с защитным противокумулятивным экраном / The scientific heritage. № 71 (2021) – С. 34–40.
16. Е.Е. Невская, Е.В. Глебова и др. Разработка модели защитного барьера для снижения взрывной нагрузки от ударной волны на здания и сооружения / Безопасность труда в промышленности / Occupational Safety in Industry, № 8'2019. – С. 6.
17. В.А. Горев, Н.В. Тюрин. Защита зданий от взрыва с помощью перфорированного экрана / Пожаровзрывобезопасность. 2/2005. – С. 33–37.
18. Коцюруба В.И., Билык А.С. и др. Методика расчетов и обоснование требований к инженерной защите объектов критической инфраструктуры от БПЛА типа «баражирующий боеприпас» / Прочность материалов и теория сооружений, 2022. № 109. – С. 164–183.
19. Серия «Защита зданий и инфраструктуры» /Предотвращение обрушения сооружений с целью ограничения ущерба соседним сооружениям и дополнительных человеческих жертв при попадании взрывных устройств в густонаселенные городские центры BIPS 05/июнь 2011. URL: https://www.dhs.gov/xlibrary/assets/preventing-structures-from-collapsing-062011.pdf. Дата обращения: 01.09.2023.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

20. Б.А. Эпов. Основы взрывного дела. – М.: Воениздат, 1974. – 222 с.
21. Эффективность ракетных комплексов: учебное пособие. Кн. 2 / С.Н. Ельцин. Балтский гос. техн. ун-т. – СПб., 2018. – 117 с.
22. ДСТУ 2251:2018 «Стальные горячекатаные равнополичные уголки». – 13 с.
23. ДБН В.2.6-198:2014 «Стальные конструкции. Нормы проектирования». – 205 с.
24. Билык А.С. Оптимальный выбор конструкций с дискретно изменяющейся схемой нагрузки /Сб. научных трудов УИСК им. В.М. Шимановского. – Выпуск 14, 2014. – С. 70–78.
25. Билык А. С. Выбор оптимальных конструктивных решений стальных ферм покрытий: автореферат дис.....кандидата технических наук: 05.23.01 / Билык Артем Сергеевич; Киевский
нац. ун-т строительства и архитектуры. – К., 2009. – 21 с.
26. Excel Solver — используемые алгоритмы и методы. URL: https://www.solver.com/excel-solver-algorithms-and-methods-used. Дата обращения 01.09.2023.

К Разделу 6 и Послесловию

1. И.В. Кочин, О.М. Акулова и др. Риск-ориентированный подход – основа организации безопасности сложных технических систем, контроля за их деятельностью и предотвращения возникновения техногенных чрезвычайных ситуаций. URL: http://old.zounb.zp.ua/node/1247. Дата обращения 01.09.2023.
2. Ткач С. М. Управление рисками инвестиционной деятельности в регионе: теоретические основы и прикладные аспекты: монография / С. М. Ткач. – Львов: ГУ «Институт региональных исследований имени М. И. Долишнего НАН Украины», 2015. – 234 с.
3. Paté-Cornell, E. (2002). Finding and fixing systems weaknesses: Probabilistic methods and applications. Risk Analysis, 22(2), 319–334. URL: https://doi.org/10.1111/0272-4332. 00025. Дата обращения 01.09.2023.
4. Murdock, H. J., De Bruijn, K. M., & Gersonius, B. (2018). Оценка устойчивости критически важной инфраструктуры к наводнениям с использованием подхода на основе кривой отклика. Sustainability, 10(10), 3470. URL: https://doi.org/10.3390/su10103470. Дата обращения: 01.09.2023.
5. Aven, T., Ben-Haim, Y., Andersen, H. B., Cox, T., Droguett, E. L., Greenberg, M., Guikema, S., Kröger, W., Renn, O., Thompson, K., & Zio, E. (2018). Глоссарий Общества по анализу рисков. URL: https://www.sra.org/wp-content/uploads/2020/04/SRA-Glossary-FINAL.pdf. Дата обращения: 01.09.2023.
6. Santos J., Ian Daniel K., Roquel Z. и др. Оценка экономических последствий сбоев в работе критически важных объектов инфраструктуры с использованием динамической модели вход-выход с учетом неработоспособности: тематическое исследование извержения вулкана Тааль / 2022. https://doi.org/10.1080/23789689.2022.2127999. Дата обращения: 01.09.2023.
7. ДСТУ ISO 14050 «Экологическое управление. Словарь терминов». – 55 с.
8. Билык А.С. Экологический и экономический анализ жизненного цикла каркасов зданий: монография. – К.: УЦСБ, КНУБА, 2022. – 263 с.
9. ДСТУ ISO 14040:2013 Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Принципы и структура (ISO 14040:2006, IDT). – 22 с.
10. Донецкая область: из-за российских обстрелов на ТЭС обрушилась крыша – есть погибший и раненые. URL: https://www.pravda.com.ua/news/2023/07/8/7410426. Дата обращения 01.09.2023.
11. ДБН В.1.2-14:2018. Система обеспечения надежности и безопасности строительных объектов. Общие принципы обеспечения надежности и конструктивной безопасности зданий и сооружений. – 36 с.
12. ДСТУ ISO 15686-5:20XX. Здания и объекты недвижимого имущества. Планирование срока эксплуатации. Часть 5. Оценка стоимости жизненного цикла (ISO 15686-5:2017, IDT). – 101 с.
13. ДСТУ 9171:2021 «Руководство по обеспечению сбалансированного использования природных ресурсов при проектировании сооружений». – 91 с.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

14. Регламент № 305/2011 о сбалансированном использовании природных ресурсов
15. Директива 5000.1, «Система закупок в сфере обороны /DoD USA». URL: https://www.acq.osd.mil/dpap/Docs/dodd5000-1-chg-1-010401.pdf. Дата обращения 01.09.2023.
16. E 917-02. Американский национальный стандарт: «Стандартная практика расчета затрат на жизненный цикл зданий и строительных систем». – 6 с.
17. Билык А., Бурган Б. Сравнительный анализ стоимости многоэтажных коммерческих зданий. – К.: УЦСБ, 2014. – 77 с.
18. Hicks S.J., Lawson R.M., Rackham J.W., Fordham P. Сравнительная стоимость конструкций современных коммерческих зданий (2-е изд.) / SCI P137, 2004. – 85 с.
19. Khajehpour S., Grierson D.E. Рентабельность и безопасность высотных офисных зданий / Struct Multidisc Optim 25, 2003. – С. 279–293.
20. Билык А.С. Выбор оптимальных конструктивных решений стальных ферм кровель – Диссертация … кандидата технических наук. – К.: КНУБА, 2009. – 220 с.
21. Koks, E., Pant, R., Thacker, S. и др. Понимание сбоев в бизнес-процессах и экономических потерь, вызванных перебоями в электроснабжении и наводнениями. Int J Disaster Risk Sci 10, 421–438 (2019). – URL: https://doi.org/10.1007/s13753-019-00236-y. Дата обращения 01.09.2023.
22. Koks, E.E., and M. Thissen. A multiregional impact assessment model for disaster analysis. Journal of Economic System Research 28(4), 2016. – С. 429–449
23. Данные подрядных организаций, НАК «Укрэнерго» и Государственного агентства по восстановлению и развития инфраструктуры. – URL: https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/3795756-ukraina-otrimala-vid-usaid-armaturu-dla-budivnictva-zahistu-energoobektiv.html. Дата обращения: 11.12.2023.
24. Россия сможет вести войну еще два-три года – Bild. URL: https://www.slovoidilo.ua/2023/08/03/novyna/suspilstvo/rosiya-zmozhe-vesty-vijnu-shhe-dva-try-roky-bild. Дата обращения: 01.09.2023.
25. Кемп, Р. 2016. Жизнь без электричества: опыт одного города по преодолению отключения электроэнергии. Лондон: Королевская инженерная академия. URL: https://www.raeng.org.uk/publications/reports/living-without-electricity. Дата обращения: 01.09.2023.
26. А Новый подход к надежное энергетике: подземные подземные URL: https://www.power-grid.com/td/a-new-approach-for-reliable-energy-underground-substations/#gref. Дата обращения: 01.09.2023.
27. Подробное проектирование и надзор за строительством подземной подстанции Клонг Тоэй/Å Energi. URL: https://attconsult.com/en/power-engineering/transmission-and-distribution-system-engineering/detailed-design-and-construction-supervision-of-klong-toey-underground-substation. Дата обращения: 01.09.2023.
28. Использование подземных сооружений для защиты критически важных объектов инфраструктуры: краткий отчёт по итогам семинара (1998) Национальный исследовательский совет 1998. Использование подземных сооружений для защиты критически важных объектов инфраструктуры: краткий отчёт по итогам семинара. Вашингтон, округ Колумбия: The National Academies Press. – URL: https://doi.org/10.17226/6285. Дата обращения 01.09.2023.
29. Электростанция Тьорхом – URL: https://www.ae.no/en/our-business/hydroelectric-power/our-hydroelectric-power-stations/tjorhom-power-station. Дата обращения: 01.09.2023.
30. UFC 4-023-07 Проектирование сооружений, устойчивых к воздействию оружия прямого огня / Инженерный корпус армии США, 2007 – 74 с.
31. Закон Украины «О публичных закупках». – URL: http://www.dorservice.kiev.ua/node/36. Дата обращения: 01.09.2023.
32. Эволюция законодательства Украины о публичных и оборонных закупках от истоков до наших дней: нарративный анализ / URL: https://coordynata.com.ua/evolucia-zakonodavstva-ukraini-pro-publicni-ta-oboronni-zakupivli-vid-vitokiv-do-sogodenna-narrativnij-analiz. Дата обращения 01.09.2023.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН Машинный перевод

33. Mannakkara, S.; Wilkinson, S. Принципы «Build Back Better» для структурных улучшений после бедствий. Struct. Surv, 2013. – № 31. – С. 314–327.

34. Rita Der Sarkissian, Anas Dabaj и др. Оценка реализации концепции «Build-Back-Better» для систем критически важной инфраструктуры: уроки острова Сен-Мартен после урагана «Ирма». URL: https://www.mdpi.com/2071-1050/13/6/3133 Sustainability 2021, 13(6), 3133https://doi.org/10.3390/su13063133. Дата обращения: 01.09.2023.

35. ДСТУ ISO 15392:202_(ISO 15392:2019, IDT) «Устойчивость в зданиях и строительных работах. Общие принципы». – 35 с.

36. Violette E. «Жизненный цикл здания». Уравновешивание уравнения совокупной стоимости владения / С нашими клиентами. Семинар AIAT Green Day, 2015. – 32 с.

37. Леонтьев, В. (1936). Количественные отношения между входами и выходами в экономических системах Соединенных Штатов. The Review of Economics and Statistics, 18(3), 105–125. URL: https://doi.org/10.2307/1927837. Дата обращения: 01.09.2023.

38. Лиан, Ц., и Хеймс, Ю. Ю. (2006). Управление риском терроризма для взаимозависимых инфраструктурных систем с помощью динамической модели входов-выходов с учетом неработоспособности. Systems Engineering, 9(3), 241–258. URL: https://doi.org/10.1002/sys.20051. Дата обращения: 01.09.2023.

39. Barker, K., & Santos, J. R. (2010). Оценка эффективности запасов с помощью динамической модели «вход–выход». International Journal of Production Economics, 126(1), 130–143. URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092552730900293X?via/3Dihub. Дата обращения: 01.09.2023.

40. Santos J., Ian Daniel K., Roquel Z. и др. Оценка экономических последствий сбоев в работе критически важной инфраструктуры с использованием динамической модели «вход-выход» с учетом неработоспособности: исследование на примере извержения вулкана Тааль / 2022. URL: https://doi.org/10.1080/23789689.2022.2127999. Дата обращения: 01.09.2023.

41. Ла Порт, Т. М. (2006). Управление непредвиденными ситуациями: надёжность и организационная устойчивость. В: П. Э. Ауэрсвальд, Л. М. Бранскомб, Т. М. Ла Порт и Э. О. Мишель-Керджан (ред.), «Семена бедствия, корни реагирования: как частные действия могут снизить уязвимость общества». Cambridge University Press. – С. 71–76

42. Багерсад, М., и Зобель, К. В. (2015). Экономические последствия производственных узких мест, вызванных бедствиями, затрагивающими взаимозависимые отрасли промышленности. International Journal of Production Economics, 168 (октябрь 2015), 71–80. URL: https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.06.011. Дата обращения: 01.09.2023.

43. Трамп, Б. Д., Линков, И., и Хайнс, У. (2020). Сочетание устойчивости и эффективности в обществах после COVID. Nature, 588(7837), 220–221. URL: https://doi.org/10.1038/d41586-020-03482-z. Дата обращения: 01.09.2023.

44. Экосистемные услуги. Обзор / О. Василюк, Л. Ильминская. БФ «Фонд защиты биоразнообразия Украины», 2020. – 84 с.

45. Чем может обернуться катастрофа на Каховской ГЭС для экологии и сельского хозяйства. – URL: https://www.slovoidilo.ua/2023/06/13/infografika/suspilstvo/chym-mozhe-obernutysya-katastrofa-kaxovskij-hes-ekolohiyi-ta-silskoho-hospodarstva. Дата обращения: 01.09.2023.

46. Руководство по строительству HESCO, версия 2. 2011. – 160 с

47. GIS и BIM: интеграция двух самых революционных технологий. URL: https://www.commercialdesignindia.com/insights/6112-gis-and-bim-integrating-two-of-the-most-disruptive-technologies. Дата обращения: 01.09.2023.

48. Beyond Business as Usual: BIM and the Future of Public Works. URL: https://power.buellcenter.columbia.edu/essays/beyond-business-usual-bim-and-future-public-works. Дата обращения: 01.09.2023.

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

Приложение 1

Таблица Д.1.1

Параметры оценки элемента ОКИ по методике CARVER

Балл	Критичность (C)	Доступность (A)	Восстановление (R)	Уязвимость (V)	Эффект (E)	Распознавание (R)
5	Катастрофическое воздействие на функционирование объекта. Остановка работы объекта; без дополнительных мер восстановить работу невозможно	Объект открыт для посещения; легко доступен без особых усилий. На участок легко проникнуть. Охрана не обеспечена	Требуется более 1 года на ремонт или замену. Стоимость восстановления превышает 200 млн грн.	Уязвим для широкомасштабного нападения с применением стрелкового оружия. Специальные навыки или инструменты не требуются	Критическое воздействие на другие объекты инфраструктуры или на деятельность. Объект тесно связан с другими объектами и имеет критическое значение для их функционирования. Каскадные отказы неизбежны	Легко распознается всеми без ошибок. Легко узнать по спутниковым снимкам
4	Критическое влияние на функционирование объекта. Повреждение части оборудования. Снижение производства (генерации энергии) до 30%	Для получения доступа требуются минимальные усилия. Имеется внешнее ограждение, но не ведется видеонаблюдение, нет постоянных патрулей	3–6 месяцев на ремонт или замену. Стоимость восстановления — от 100 млн до 200 млн грн.	Уязвим к специализированной атаке из стрелкового оружия или от единичного небольшого заряда взрывчатого вещества	Большое влияние на другие объекты инфраструктуры. Несколько других объектов могут значительно пострадать. Значительная вероятность каскадных отказов	Легко распознается в большинстве случаев с небольшой погрешностью. Требуется очень ограниченная подготовка и понимание для идентификации с помощью спутниковых снимков
3	Значительное влияние на функционирование объекта. Воздействие на основное оборудование некритическое. Снижение производства (генерации энергии) до 50%	Требуются определенные усилия. Приняты меры против злоумышленников. Имеется базовая защита периметра, например патрули, электронная система доступа. Инженерная защита усилена, но на базовом уровне, на первых этажах	Требуется 1–3 месяца на ремонт или замену поврежденного оборудования. Стоимость восстановления составляет от 50 млн до 100 млн грн.	Уязвим только для факторов косвенного поражения ЗПН типа ракет или прямых попаданий БПЛА, значительных зарядов взрывчатых веществ или меньших, но специальных зарядов ВР	Значительное воздействие. Связанные с объектом критические системы также подвергаются каскадным отказам	Цель трудно распознать ночью или в плохую погоду, её можно спутать с другими целями или компонентами цели; распознавание на земле или с помощью спутникового изображения требует определённой подготовки

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

2	Сильное воздействие на функционирование объекта. Повреждение некоторых дополнительных узлов и агрегатов. Снижение производства (генерации энергии) до 75%	Объект труднодоступен для поражения. Периметр объекта хорошо защищен. Общий уровень мер безопасности, в том числе инженерной защиты, соответствует второму или эквивалентному уровню	Восстановление занимает около 24–72 часа. Для ремонта и восстановления необходимо привлечение профессиональных учреждений и организаций	На цель очень сложно повлиять. Для повреждения необходимо установка нескольких специализированных зарядов взрывчатого вещества или прямые попадания ЗПН типа ракет или БПЛА	Последствия поражения достаточно значительны. По крайней мере одна связанная критическая система пострадает, но с небольшой вероятностью каскадных отказов	Цель трудно распознать ночью или в плохую погоду, даже на расстоянии стрелкового оружия; её легко спутать с другими целями или компонентами, для распознавания требуется интенсивная подготовка
1	Лишь незначительные нарушения функционирования объекта. Возможно повреждение второстепенного оборудования или усиление вторичных последствий. Падение производства (генерации энергии) до 100%	Доступ к объекту очень затруднен, имеется несколько барьеров военизированной охраны. Осуществляется усиленный контроль доступа. Попытка проникновения пресекается огнем на поражение. Инженерная защита — третьего уровня или эквивалентная	Ремонт занимает до суток и не требует специальной квалификации. Ремонтные комплекты и материалы легкодоступны и недороги, могут храниться в готовом виде на объекте	Объект неуязвим для всех средств поражения, кроме специальных действий ЗПН, таких как многократные попадания, особые бомбы и т. п.	Эффект от поражения минимален, не влияет на функционирование других процессов и объектов	Цель не может быть распознана ни при каких условиях, кроме привлечения специализированных экспертов и средств
0	Элементам нулевой критичности следует присваивать значение 1 или 0,5, если требуется оценка CARVER (то есть оценивается связь критически важных элементов в контексте с другими элементами).					

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

Таблица Д.1.2

Пример оценки элементов ОКИ по методике CARVER для объекта-представителя «ТЭС»

№ п/п	Описание элемента	C	A	R	V	E	R	IMPACT	LIKELIHOOD	Priority Рейтинг
Электрогенерация										
1	Бойлер	5	2	5	3	5	4	15	9	24
2	Турбина	5	2	5	3	5	4	15	9	24
3	Генератор	5	2	5	3	5	4	15	9	24
4	Центр управления	5	2	3	3	5	4	13	9	22
5	Трансформаторы ТДЦ-400000/330 — 6 шт.	5	3	5	3	5	5	15	11	26
6	Распределительная подстанция	4	3	4	3	3	5	11	11	22
Водоснабжение										
7	Водонасосная станция	3	3	3	3	3	3	9	9	18
8	Станция очистки воды	2	3	3	3	3	3	8	9	17
9	Станция химической подготовки воды	2	2	3	2	3	3	8	7	15
10	Резервуар для воды	2	3	2	2	2	4	6	9	15
11	Очистные сооружения	1	5	1	1	1	5	3	11	14
Топливо										
12	Состав угля	3	4	2	2	2	5	7	11	18
13	Бункер для угля	3	2	3	3	3	3	9	8	17
14	Шаровая мельница	3	1	3	3	4	3	10	7	17
15	Емкость для хранения мазута	3	1	3	2	3	5	9	8	17
16	Насос подачи жидкого топлива	4	1	2	4	3	4	9	9	18
17	ГРП	4	1	2	3	4	5	10	9	19
18	Компрессорная станция воздуха	3	1	2	3	3	3	8	7	15
Транспортировка отходов										
19	Внешние поставки угля	2	4	2	1	3	5	7	10	17
20	Конвейер подачи угля	3	4	2	2	3	4	8	10	18
21	Газопроводы	3	3	2	4	3	5	8	12	20
22	Водопроводы	2	3	2	4	3	4	7	11	18
23	Продуктопроводы	3	2	2	4	3	4	8	10	18
24	Конвейер перемещения шлака	1	4	1	1	1	2	3	7	10
Вспомогательное топливо										
25	Дизельное топливо	1	2	1	3	1	2	3	7	10
26	Водород	2	2	2	3	1	2	5	7	12

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

Приложение 2

Таблица Д.2.1

Проектные угрозы для ОКИ со стороны ЗПН

№ п/п	Вид угрозы	Характеристики угрозы	Характеристики угрозы
1	Ракетный удар	Большая масса БО осколочно-фугасной или фугасно-кумулятивной, проникающей; сверхвысокая скорость гиперзвуковых, зенитных и баллистических ракет; высокая точность поражения; возможность поражения объектов на всей территории государства; возможность выполнения полетов на предельно малых высотах; возможность нанесения ударов в любых погодных условиях независимо от времени суток; возможность избирательного поражения наиболее важных элементов объектов; сложность определения времени и районов запуска крылатых (авиационных) ракет воздушного базирования (стартовых позиций наземных комплексов).	Значительные разрушения объекта или его важнейших элементов; частичное или полное нарушение функционирования объекта на длительное время; высокая вероятность гибели и ранения людей, находящихся на объекте; нарушение транспортного сообщения вследствие разрушения коммуникаций и мостов; вероятность подтопления территории в результате разрушения плотин, дамб, мостов; возникновение пожара в результате повреждения в системах энергоснабжения и повреждения резервуаров или трубопроводов; выбросы опасных веществ в результате повреждения резервуаров и трубопроводов; взрывы в результате детонации газовых смесей или легковоспламеняющихся веществ и жидкостей.
2	Авиационный удар	Большая масса осколочно-фугасных боевых частей управляемых авиационных ракет и бомб; низкая точность неуправляемых авиационных ракет и бомб; высокая точность управляемых авиационных ракет и корректируемых бомб; возможность использования большого количества авиационных ракет и бомб по одному объекту; зависимость возможностей ударов от погодных условий и времени суток; возможность одновременного применения ракетного вооружения и авиационных бомб с одного самолета; возможность корректировки авиационного удара по результатам визуальной оценки пилотом выполненного задания.	Значительные разрушения объекта или его наиболее важных элементов; частичное или полное нарушение функционирования объекта на длительное время; высокая вероятность гибели и ранения людей, находящихся на объекте; нарушение транспортного сообщения вследствие разрушения коммуникаций и мостов; вероятность подтопления территории вследствие разрушения плотин, дамб, мостов; возникновение пожара вследствие повреждения в системах энергоснабжения и повреждения резервуаров или трубопроводов; выбросы опасных веществ в результате повреждения резервуаров и трубопроводов; взрывы в результате детонации газовых смесей или легковоспламеняющихся веществ и жидкостей.
3	Удар с использованием ударных БПЛА типа баражирующий	Средняя масса осколочно-фугасной БГУ ударного БПЛА; высокая точность наведения ударного БПЛА на стационарный объект;	Разрушение наиболее важных элементов объекта; частичное или полное нарушение функционирования объекта на длительное период;

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

№ п/п	Вид угрозы	Свойства угрозы	Характеристики угрозы
	боеприпас	низкая скорость полета БПЛА; зависимость возможностей нанесения ударов от погодных условий; возможность массированного применения по объектам на всей территории государства; использование кумулятивных боевых частей на баражирующих боеприпасах.	высокая вероятность гибели и ранения людей, находящихся на объекте; возникновение пожара в результате повреждения в системах энергоснабжения и повреждения резервуаров и трубопроводов; выбросы опасных веществ в результате повреждения резервуаров и трубопроводов; взрывы в результате детонации газовых смесей или легковоспламеняющихся веществ и жидкостей.
4	Ракетно-артиллерийские удары (обстрелы)	Небольшая масса боевых частей осколочно-фугасного действия снарядов; средняя масса БЧ осколочно-фугасного действия ракет реактивных систем залпового огня; низкая точность стрельбы неуправляемыми ракетами и снарядами; большая скорость полёта средств поражения; возможность нанесения ударов в любых погодных условиях независимо от времени суток; возможность массированного применения по объектам, расположенным в районах, прилегающих к государственной границы или районах ведения боевых действий; возможность использования высокоточных корректируемых боеприпасов (ракет) реактивными системами залпового огня.	Значительные разрушения объекта; частичное или полное нарушение функционирования объекта на длительное время; высокая вероятность гибели и ранения людей, находящихся на объекте; возникновение пожара в результате повреждения в системах энергоснабжения и повреждения резервуаров и трубопроводов; выбросы опасных веществ в результате повреждения резервуаров и трубопроводов; взрывы в результате детонации газовых смесей или легковоспламеняющихся веществ и жидкостей.

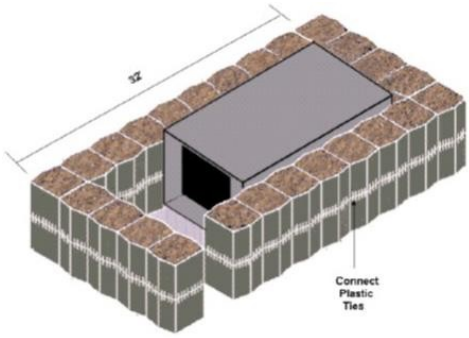
Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

Приложение 3

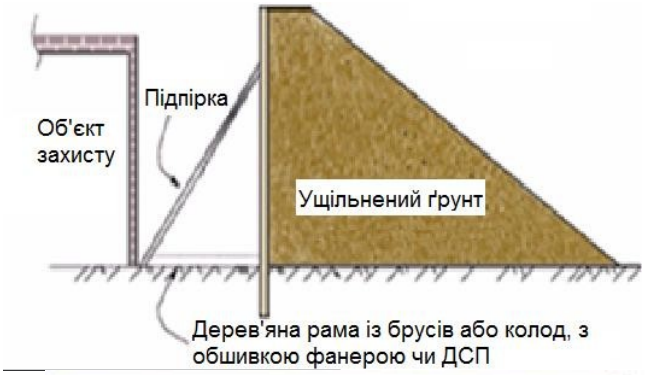
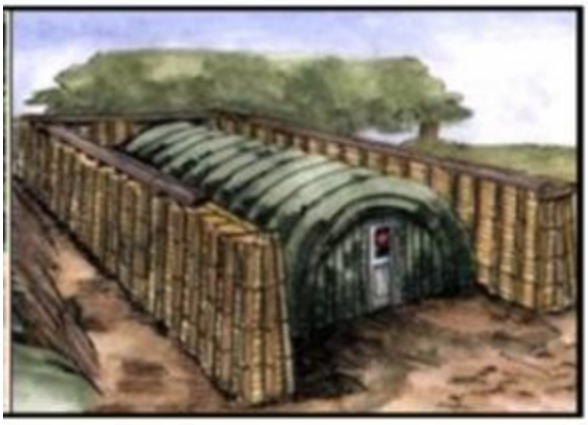
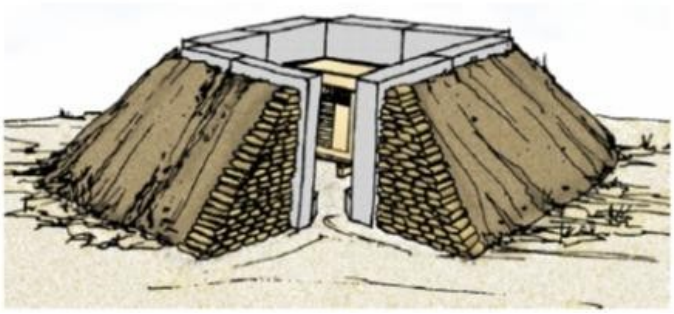
Таблица Д.3.1

Основные типы сооружений первого уровня защиты

№	Вариант системы инженерной защиты, описание	Преимущества	Недостатки, ограничения
1	Грунтоемкие системы из биг-бегов, мешков с грунтом (песок, песок с щебеночным отсевом) 	Высокая скорость монтажа Низкая стоимость Доступность	Необходимость подачи на монтаж элемента, заполненного грунтом Недолговечность Значительная уязвимость к воздействию погодных условий Ограниченная высота
2	Грунтоемкие системы из фортификационных габионов 	Средняя скорость устройства Модульность Долговечность Гибкость Увеличенная высота Равномерность защиты Высокая ремонто-пригодность	Сложность устройства, риск обрушения в случае несоблюдения технологии Необходимость подготовки основания
3	Металлические или грунтоемкие системы из металлических контейнеров, вагонов 	Большая толщина защиты. Долговечная оболочка. Возможность повторного использования	Неравномерность защиты, наличие просветов. Значительный вес оболочки

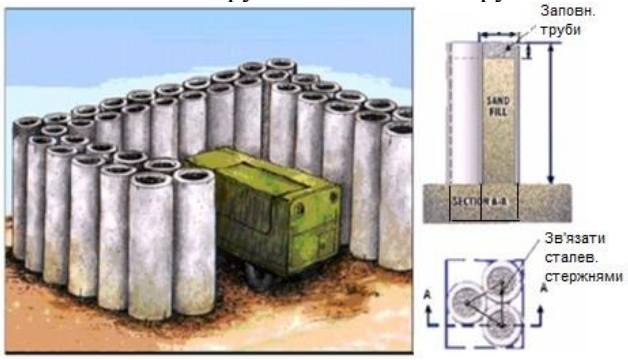
Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

№	Вариант системы инженерной защиты, описание	Преимущества	Недостатки, ограничения
4	Грунтоемкие – подпорные стенки из деревянных или металлических элементов с засыпкой и/или обваловкой грунтом.  	Высокая скорость возведения. Низкая стоимость. Доступность. Простота ремонта	Необходимость значительных площадей на объекте. Небольшая эффективная высота Умеренная долговечность
5	Бетонные, железобетонные из блоков, дорожных элементов, сборных плит и панелей 	Высокая скорость устройства Относительная дешевизна Доступность. Возможность повторного использования	Наличие вторичных обломков. Неравномерность защиты, наличие просветов. Низкая ремонтопригодность
6	Грунтоемкие — подпорные стенки из бетонных блоков с засыпкой и/или обвалом грунтом 	Высокая скорость возведения Относительная дешевизна Доступность	Необходимость значительных площадей на объекте Небольшая эффективная высота

Пожертвовать на русскую Победу

ПЕРЕВЕДЕНО КЦПН
Машинный перевод

№	Вариант системы инженерной защиты, описание	Преимущества	Недостатки, ограничения
7	Грунтобетонные конструкции из грунтоцемента в съемной или несъемной опалубке 	Относительная дешевизна Доступность	Низкая ремонтопригодность Увеличенное время монтажа Наличие вторичных обломков
8	Грунтоемкие — подпорные стенки из железобетонных труб с заполнением грунтом 	Относительная дешевизна Доступность Возможность повторного использования	Необходимость соединения труб между собой Ограниченная высота Необходимость подготовки основания

Пожертвовать на русскую Победу