

УДК 351.862

DOI: 10.34670/AR.2024.65.98.064

Расчетное обоснование несущей способности защитных сооружений гражданской обороны блок-модульного типа полной заводской готовности: экономические аспекты

Посохов Николай Николаевич

Начальник научно-исследовательского центра,
Всероссийский научно-исследовательский институт
по проблемам гражданской обороны
и чрезвычайных ситуаций МЧС России,
123242, Российская Федерация, Москва, ул. Вавилова, 46;
e-mail: nik.posokhov@yandex.ru

Аннотация

В данной статье приведены основные технические характеристики защитных сооружений гражданской обороны блок-модульного типа полной заводской готовности, возводимых на поверхности земли. За основу при разработке базового блок-модуля ЗС ГО БМТ принят унифицированный металлический контейнер типа 1 ААА, который допускает транспортировку автомобильным, железнодорожным, воздушным, водным (речным и морским) транспортом, разгрузку и развертывание с условием сохранения проектных характеристик. Для восприятия избыточного давления во фронте воздушной ударной волны 100 кПа (1 кгс/см²) предлагается усиление продольных и поперечных стен базового контейнера с внутренней стороны вертикальными и горизонтальными стойками и балками, а также усиление покрытия и пола балками из металлического профиля 80x80x4 мм квадратной формы. Шаг конструкций усиления, а также контрфорсов, устанавливаемых с наружной стороны стен, определяется расчетом с использованием сертифицированной системы прочностного анализа и проектирования конструкций Structure CAD Office, предназначенного для расчета элементов стальных конструкций в соответствии с требованиями СП 53-102-2004. В статье представлены результаты расчетов, подтверждающие несущую способность предложенной конструкции при воздействии экстремальных нагрузок. Особое внимание уделено вопросам обеспечения устойчивости сооружения к динамическим нагрузкам, возникающим при воздушной ударной волне, а также к статическим нагрузкам, связанным с эксплуатацией сооружения. Практическая значимость исследования заключается в разработке универсального решения для быстрого развертывания защитных сооружений гражданской обороны в условиях чрезвычайных ситуаций. Предложенная конструкция позволяет обеспечить высокий уровень защиты при минимальных затратах времени и ресурсов на монтаж и транспортировку.

Для цитирования в научных исследованиях

Посохов Н.Н. Расчетное обоснование несущей способности защитных сооружений гражданской обороны блок-модульного типа полной заводской готовности: экономические аспекты // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2024. Том 14. № 11А. С. 586-593. DOI: 10.34670/AR.2024.65.98.064

Ключевые слова

защитные сооружения гражданской обороны, блок-модули, полная заводская готовность, усиление, расчет, несущая способность.

Введение

Целью данной статьи является обоснование экономической возможности создания защитных сооружений гражданской обороны блок - модульного типа полной заводской готовности (далее – ЗС ГО БМТ) возводимых на поверхности земли, включая разработку объемно-планировочных и конструктивных решений отдельных модулей различного назначения.

Под ЗС ГО БМТ понимаются блок - модульные сооружения полной заводской готовности, оборудованные инженерными системами, позволяющие объединять несколько блоков в защитные сооружения гражданской обороны различного уровня защиты и предназначенные для возведения убежищ, противорадиационных укрытий или укрытий различной вместимости в мирное время, в угрожаемый период и в военное время за сравнительно короткий промежуток времени.

За основу при разработке базового блок-модуля ЗС ГО БМТ принят металлический контейнер, соответствующий требованиям Международной конвенции по безопасным контейнерам 1972 г. с поправками 1981, 1983, 1991, 1992, 1993 гг., Таможенной конвенции, касающейся контейнеров, 1972 г. [Международная конвенция по безопасным контейнерам 1972 г. с поправками 1981, 1983, 1991, 1992, 1993 гг. - [www...](#); Таможенная конвенция, касающаяся контейнеров, 1972 г., Женева, 2 декабря 1972 года. - [www...](#); РД 31.15.01-89 «Правила перевозки опасных грузов морем (правила МОПОГ)». - [www...](#)].

Размеры, допуски и взаимное расположение угловых и промежуточных фитингов контейнера, принятого за основу при разработке комплекта блок-модулей приняты как для типа 1ААА, а именно: - высота 2896 мм. (0,-5); - ширина 2438 мм. (0,-5); - длина 12192 мм. (0,-10).

Разрабатываемые блоки-модули относятся к новому типу защитных сооружений ГО, способствующих повышению инженерной защиты населения. При создании блок-модулей учтены требования государственных стандартов и сводов правил [СП 88.13330.2022 «Защитные сооружения гражданской обороны». - [www...](#); СП 165.1325800.2014 «Инженерно-технические мероприятия по гражданской обороне. Актуализированная редакция СНиП 2.01.51-90» (с изменениями 1, 2, 3). - [www...](#); ГОСТ Р ГОСТ Р 42.4.08-2021 «Гражданская оборона. Защитные сооружения гражданской обороны. Сооружения быстровозводимые блок-модульного типа полной заводской готовности. Общие требования». - [www...](#)] регламентирующих порядок создания сооружений с применением новых технических, конструкторских и технологических решений. Блоки-модули по своим функциональным возможностям и тактико-техническим показателям (стоимости и срокам возведения) превосходят существующие в настоящее время ЗС ГО, возводимые по традиционным технологиям с применением сборного или монолитного железобетона в котловане с последующей обваловкой грунтом.

Разрабатываемые блоки-модули в зависимости от типа обеспечивают защиту:

- от действия избыточного давления во фронте воздушной ударной волны, равного 100 кПа (1 кгс/см²);
- от фугасного и осколочного действия обычных средств поражения, поражения обломками строительных конструкций рядом расположенных зданий;

- от действия отравляющих веществ, радиоактивных веществ и бактериальных средств;
- от действия проникающей радиации;
- от теплового воздействия при пожарах.

Конструктивное решение базового модуля ЗС ГО БМТ

Для восприятия избыточного давления во фронте воздушной ударной волны предлагается следующее усиление базового блок-модуля:

1. На наружных продольных и поперечных стенах, с внутренней стороны, устанавливаются вертикальные стойки из профиля 80x80x4 мм квадратной формы из стали 3сп/пс5 по ГОСТ 30245-2003 [ГОСТ 30245-2003 «Профили стальные гнутые, замкнутые, сварные квадратные и прямоугольные для строительных конструкций». - [www...](#)] с шагом 1200 мм. Стойки крепятся к наружному профилированному листу контейнера на сварке прерывистым швом;

2. На наружных продольных и поперечных стенах, с внутренней стороны, между вертикальными стойками устанавливаются горизонтальные балки

из квадратного профиля 80x80x4 мм [ГОСТ 30245-2003 «Профили стальные гнутые, замкнутые, сварные квадратные и прямоугольные для строительных конструкций». - [www...](#)] с шагом 600 мм. Балки крепятся

к стойкам и наружному профилированному листу на сварке прерывистым швом;

3. С наружной стороны, с шагом 1200 мм, по периметру блок-модуля устанавливаются контрфорсы из квадратного профиля 80x80x4 мм [ГОСТ 30245-2003 «Профили стальные гнутые, замкнутые, сварные квадратные и прямоугольные для строительных конструкций». - [www...](#)]. Крепление контрфорсов осуществляется болтовыми соединениями через фланцы, установленные по торцам блоков через 600 мм по высоте и закреплённые к вертикальным стойкам усиления и контрфорсам на сварке.

Контрфорсы закрепляются к грунтовому основанию через анкера длиной 600 - 1200 мм и диаметром 22 - 28 мм, в зависимости от типа грунтового основания, которые крепятся в свою очередь к нижней балке контрфорса гайкой;

4. Для обеспечения входа и выхода из ЗС ГО в торце блок-модуля устраивается тамбур шлюз с двумя защитно-герметическими распашными дверями марки ДУ-Ш-6 [Справочник по внутреннему инженерно-техническому оборудованию, приборам и инвентарю защитных сооружений гражданской обороны. Части 1, 2, Москва, 1991. - [www...](#)], предназначенные для проёма 800x1800 мм, устанавливаемых в наружной поперечной стене и внутренней стене на расстоянии 1200 мм от наружной стены. Комингс дверей приваривается к вертикальным и горизонтальным дополнительным элементам, из квадратного профиля 80x80x4 мм Защитно-герметические двери, в зависимости от объемно-планировочного решения ЗС ГО, устанавливаются также вдоль боковых стен крайних блок-модулей. В тамбуре помещения ДЭС, а также в санитарном пропускнике, в случае необходимости его устройства, устанавливаются соответственно 2 и 5 герметических дверей марки ДУ-IV-6, предназначенных для проёмов 600x1600 мм [Справочник по внутреннему инженерно-техническому оборудованию, приборам и инвентарю защитных сооружений гражданской обороны. Части 1, 2, Москва, 1991. - [www...](#)]. Кроме этого, в расширительных камерах фильтрофентиляционного помещения и камеры охлаждения дизельной электрической установки устанавливается противовзрывная защитная секция УЗС-1 на проём 500x500 мм и герметический ставень СУ-IV-1 с размерами проёма 800x800 мм [Справочник по внутреннему инженерно-техническому оборудованию, приборам и

инвентарю защитных сооружений гражданской обороны. Части 1, 2, Москва, 1991. - www...].

5. Для установки оборудования инженерно-технических систем, внутреннее пространство блок-модуля поделено на отдельные помещения перегородками, состоящими из каркаса, выполненного из квадратного профиля 80x80x4 мм [ГОСТ 30245-2003 «Профили стальные гнутые, замкнутые, сварные квадратные и прямоугольные для строительных конструкций». - www...], обшитого с двух сторон цементно - стружечными плитами марки ЦСП-1 [ГОСТ 26816 - 86 «Плиты цементностружечные. Технические условия». - www...].

Для обеспечения защиты от обычных средств поражения, обломков строительных конструкций при разрушении рядом расположенных зданий, а также от проникающей радиации предлагается следующее усиление базового блок-модуля:

1. По периметру блок-модуля, между контрфорсов, устанавливаются бетонные блоки размером 400(В)x600(Н)x1000(Л) мм (ГОСТ 13579-78 [ГОСТ 13579-78 «Бетонные блоки». - www...]) на всю высоту монтируемых блок-модулей. Блоки устанавливаются друг на друга на расстоянии 100 мм от блок-модуля. Образовавшееся пространство заполняется крупнозернистым песком;

3. На покрытие, в поперечном направлении, укладываются два бетонных блока размером 600(В)x400(Н)x2400(Л)мм по всей длине блок-модуля. При этом, бетонные блоки должны свешиваться на 1200 мм с обеих сторон блок-модуля.

Для обеспечения возможности эксплуатации блок-модулей в различных климатических условиях в наружные стены между элементами усиления укладывается утеплитель в виде жестких минераловатных плит толщиной 80 мм, марки ПП-80 по ГОСТ 9573-96 [ГОСТ 9573-96 «Плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем, теплоизоляционные». - www...], имеющий низкую теплопроводность и отвечающий требованиям пожарной безопасности, разрешенный к применению в строительстве.

Разработанное конструктивное решение базового блок-модуля, на основе типового морского контейнера длиной 40 футов, можно отнести к высокотехнологичным изделиям заводского изготовления. Все основные конструктивные элементы усиления и контрфорсов имеют одинаковые размеры и изготавливаются из трубы профильной 80x80x4,0 мм [ГОСТ 30245-2003 «Профили стальные гнутые, замкнутые, сварные квадратные и прямоугольные для строительных конструкций». - www...]. Соединение конструктивных элементов осуществляется на сварке или болтах с помощью стандартного оборудования и не требует приобретения или разработки нового оборудования.

Расчетное обоснование несущей способности базового модуля ЗС ГО БМТ при действии воздушной ударной волны

Расчетное обоснование конструктивных решений металлического каркаса базового модуля ЗС ГО БМТ проводилось с использованием сертифицированной системы прочностного анализа и проектирования конструкций Structure CAD Office, а именно:

Кристалл – сателлита, расчет элементов стальных конструкций в соответствии с требованиями СП 53-102-2004 [СП 53-102-2004 «Общие правила проектирования стальных конструкций». - www...];

SCAD - вычислительный комплекс для прочностного анализа конструкций методом конечных элементов [SCAD Office Сертификат соответствия № РОСС RU.СП09.Н00057. - www...].

В процессе постановки задачи и моделирования расчетной схемы были приняты следующие допущения и ограничения:

1. Все внешние нагрузки на встраиваемый каркас передаются через ограждающие конструкции базового модуля или защитно-герметические двери. В расчетах не учтено снижение нагрузок на встраиваемый каркас за счет его совместной работы с ограждающими конструкциями морского контейнера. Данное допущение идет в запас несущей способности рассчитываемого металлического каркаса усиления;

2. Все горизонтальные нагрузки на каркас ЗС ГО БМТ воспринимаются металлическими контрфорсами, которые закреплены с основанием шарнирно (ограничены перемещения, свободны углы поворота). Опираемость блок-модуля на основание не допускает скольжение по горизонтальной плоскости (по основанию). Данное допущение идет в запас несущей способности металлических контрфорсов и встраиваемого каркаса;

3. Динамические нагрузки от воздействия воздушной ударной волны с избыточным давлением $\Delta P_{\text{ф}} = 100 \text{ кПа}$ (1 кгс/см^2) заменены эквивалентными статическими нагрузками с коэффициентом динамичности 0,9 в соответствии с указаниями [СП 88.13330.2022 «Защитные сооружения гражданской обороны». - [www...](#)], как для незащищенных от воздействия ограждающих стен ЗС ГО;

4. Подбор поперечного сечения металлических конструкций встраиваемого каркаса выполнен без учета пластических деформаций. Данное допущение идет в запас несущей способности рассчитываемого металлического каркаса;

5. Совместная работа встраиваемых конструкций двух и более блоков-модулей осуществляется через шарнирные вставки.

Расчетное обоснование металлических конструктивных элементов осуществлялось методом итерационных приближений к целевому решению – поиск минимального поперечного сечения встраиваемых металлоконструкций и их максимальная унификация (минимальное количество типоразмеров).

По определенным усилиям в несущих элементах металлического каркаса базового блока ЗС ГО БМТ, выполненного из квадратного профиля 80x80x4 мм [ГОСТ 30245-2003 «Профили стальные гнутые, замкнутые, сварные квадратные и прямоугольные для строительных конструкций». - [www...](#)], произведен расчет несущей способности сжато-изогнутых элементов по программному комплексу Кристалл, в соответствии с требованиями СП 53-102-2004 [СП 53-102-2004 «Общие правила проектирования стальных конструкций». - [www...](#)]. На основании проведенных расчетов установлено, что при пределе текучести стали, из которого выполнены элементы каркаса, равно 2700 кг/см^2 [ГОСТ 14637-89 «Прокат толстолистовой из углеродистой стали обыкновенного качества. Технические условия». - [www...](#)], коэффициент использования несущей способности при действии воздушной ударной волны с $\Delta P_{\text{ф}} = 100 \text{ кПа}$ (1 кгс/см^2) составляет для стоек 0,985, а для балок покрытия – 0,796.

Для оценки влияния соседних блок – модулей на усилия в элементах металлического каркаса усиления был также проведен расчет ЗС ГО БМТ состоящего из 4 блок - модулей. Расчетom установлено, что увеличение количества блок – модулей практически не влияет на величины усилий в элементах каркаса. Так коэффициент использования несущей способности для стоек составляет 0,995, а для балок покрытия остается без изменения – 0,796.

Проведенные комплексные испытания на действие избыточного давления воздушной ударной волны интенсивностью $\Delta P_{\text{ф}} = 100 \text{ кПа}$ (1 кгс/см^2) полностью подтвердили результаты расчетов [Тонких, Макарыин, Сосунов, Посохов, Бузин, 2017]. Так после испытания 2 – х блок – модулей ЗС ГО БМТ на 54 укрываемых техническое состояние несущих и ограждающих

конструкций блок-модуля в целом соответствует требованиям действующих нормативных документов и позволяет его дальнейшую эксплуатацию.

Заключение

Разработан новый тип защитных сооружений гражданской обороны блок – модульного типа полной заводской готовности, оборудованный инженерными системами, позволяющие объединять несколько блоков в защитные сооружения гражданской обороны различного уровня защиты и предназначенные для возведения убежищ, противорадиационных укрытий или укрытий различной вместимости в мирное время, в угрожаемый период и в военное время за сравнительно короткий промежуток времени.

Разработана расчетная модель металлического каркаса базового блок - модуля защитного сооружения гражданской обороны, состоящего из одного и четырех блоков с использованием сертифицированной системы прочностного анализа и проектирования стальных конструкций Structure CAD Office, с использованием метода конечных элементов.

Проведенные расчеты несущей способности защитных сооружений гражданской обороны блок-модульного типа полной заводской готовности показали, что при пределе текучести стали, из которого выполнены элементы каркаса усиления, равном 2700 кг/см^2 , коэффициент использования несущей способности при действии воздушной ударной волны с $\Delta P_{\text{ф}} = 100 \text{ кПа}$ (1 кгс/см^2) составляет для стоек 0,985, а для балок покрытия – 0,796, что свидетельствует о их достаточной несущей способности для восприятия расчетной динамической нагрузки при действии воздушной ударной волны от ядерного взрыва.

Библиография

1. СП 88.13330.2022 «Защитные сооружения гражданской обороны».
2. СП 165.1325800.2014 «Инженерно-технические мероприятия по гражданской обороне. Актуализированная редакция СНиП 2.01.51-90» (с изменениями 1, 2, 3).
3. ГОСТ Р ГОСТ Р 42.4.08-2021 «Гражданская оборона. Защитные сооружения гражданской обороны. Сооружения быстровозводимые блок-модульного типа полной заводской готовности. Общие требования».
4. Международная конвенция по безопасным контейнерам 1972 г. с поправками 1981, 1983, 1991, 1992, 1993 гг.
5. Таможенная конвенция, касающаяся контейнеров, 1972 г., Женева, 2 декабря 1972 года.
6. РД 31.15.01-89. «Правила перевозки опасных грузов морем (правила МОПОГ)».
7. Правила изготовления контейнеров. НД № 2-090201-008. Электронный аналог печатного издания, утвержденного 27.03.2009 г.
8. ГОСТ 30245-2003 «Профили стальные гнутые, замкнутые, сварные квадратные и прямоугольные для строительных конструкций».
9. Справочник по внутреннему инженерно-техническому оборудованию, приборам и инвентарю защитных сооружений гражданской обороны. Части 1, 2, Москва, 1991.
10. ГОСТ 26816 - 86 «Плиты цементностружечные. Технические условия».
11. ГОСТ 9573-96 «Плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем, теплоизоляционные».
12. ГОСТ 13579-78 «Бетонные блоки».
13. СП 53-102-2004 «Общие правила проектирования стальных конструкций».
14. SCAD Office Сертификат соответствия № РОСС RU.СП09.Н00057.
15. ГОСТ 14637-89 «Прокат толстолистовой из углеродистой стали обыкновенного качества. Технические условия».
16. Тонких Г.П., Макарыш А.И., Сосунов И.В., Посохов Н.Н., Бузин Р.А. Результаты испытаний опытного образца полносборного защитного сооружения гражданской обороны блок-модульного типа полной заводской готовности на действие воздушной ударной волны // Научно-технический журнал «Технологии гражданской безопасности». Том 14, 2017, № 2 (52), стр. 86-92

Calculated Justification of the Load-Bearing Capacity of Modular Civil Defense Protective Structures of Full Factory Readiness

Nikolai N. Posokhov

Head of the Research Center,
Federal State Budgetary Institution All-Russian Research Institute
for Civil Defense and Emergency Situations (FCT),
123242, 46, Vavilova str., Moscow, Russian Federation;
e-mail: nik.posokhov@yandex.ru

Abstract

This article presents the main technical characteristics of modular civil defense protective structures of full factory readiness, erected on the ground surface. The basis for the development of the basic modular unit of the civil defense protective structure (CDPS) is a unified metal container of type 1 AAA, which allows transportation by road, rail, air, and water (river and sea) transport, as well as unloading and deployment while maintaining design characteristics. To withstand an overpressure of 100 kPa (1 kgf/cm²) in the front of an air shock wave, it is proposed to reinforce the longitudinal and transverse walls of the basic container from the inside with vertical and horizontal posts and beams, as well as to reinforce the roof and floor with beams made of 80x80x4 mm square metal profiles. The spacing of the reinforcement structures, as well as the buttresses installed on the outer side of the walls, is determined by calculations using the certified structural analysis and design system Structure CAD Office, designed for calculating elements of steel structures in accordance with the requirements of SP 53-102-2004. The article presents the results of calculations confirming the load-bearing capacity of the proposed structure under extreme loads. Special attention is paid to ensuring the stability of the structure to dynamic loads arising from air shock waves, as well as to static loads associated with the operation of the structure. The practical significance of the study lies in the development of a universal solution for the rapid deployment of civil defense protective structures in emergency situations. The proposed design ensures a high level of protection with minimal time and resource costs for installation and transportation.

For citation

Posokhov N.N. (2024) Raschetnoe obosnovanie nesushchei sposobnosti zashchitnykh sooruzhenii grazhdanskoi oborony blok-modul'nogo tipa polnoi zavodskoi gotovnosti: ekonomicheskie aspekty [Calculated Justification of the Load-Bearing Capacity of Modular Civil Defense Protective Structures of Full Factory Readiness: economics aspects]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 14 (11A), pp. 586-593. DOI: 10.34670/AR.2024.65.98.064

Keywords

Civil defense protective structures, modular units, full factory readiness, reinforcement, calculation, load-bearing capacity.

References

1. SP 88.13330.2022 "Protective structures of civil defense".
2. SP 165.1325800.2014 "Engineering and technical measures for civil defense. Updated version of SNiP 2.01.51-90" (with amendments 1, 2, 3).

3. GOST R GOST R 42.4.08-2021 "Civil defense. Protective structures of civil defense. Pre-fabricated block-modular structures of full factory readiness. General requirements".
4. International Convention on Safe Containers, 1972, as amended in 1981, 1983, 1991, 1992, 1993.
5. Customs Convention on Containers, 1972, Geneva, December 2, 1972.
6. RD 31.15.01-89. "Rules for the carriage of dangerous goods by sea (OOPOG rules)".
7. Rules for the manufacture of containers. ND No. 2-090201-008. An electronic analogue of the printed edition approved on 03/27/2009.
8. GOST 30245-2003 "Bent, closed, welded square and rectangular steel profiles for building structures".
9. Handbook of internal engineering and technical equipment, instruments and inventory of protective structures of civil defense. Parts 1, 2, Moscow, 1991.
10. GOST 26816 - 86 "Cement particle boards. Technical conditions".
11. GOST 9573-96 "Plates made of mineral wool on a synthetic binder, thermal insulation".
12. GOST 13579-78 "Concrete blocks".
13. SP 53-102-2004 "General rules for the design of steel structures".
14. SCAD Affise Certificate of Conformity no. ROSS RU.SP09.N00057.
15. GOST 14637-89 "Rolled thick-sheet carbon steel of ordinary quality. Technical conditions".
16. Tonkikh G.P., Makarin A.I., Sosunov I.V., Posokhov N.N., Buzin R.A. Test results of a prototype of a fully assembled civil defense protective structure of a block modular type of full factory readiness for the action of an air shock wave // Scientific and Technical Journal "Technologies of civil safety". Tom 14, 2017, № 2 (52), pp. 86-92