

УДК 693.98

СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ МОДУЛЬНЫХ ДОМОВ В ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

Жиленко О.Б.¹, Маринич Д.А.²

^{1,2} Институт «Академия строительства и архитектуры» (структурное подразделение), ФГАОУ ВО КФУ им. В.И.Вернадского, 295943, г. Симферополь, ул. Киевская, 181, e-mail: o.b.zhilenko@mail.ru

Аннотация. Темпы строительства модульных домов на территории Республики Крым растут с каждым годом. Расширяется область их применения. Появляются типовые проекты. В связи с климатическими и инженерно-геологическими особенностями региона, требуется разработка специальных конструктивных решений, позволяющих обеспечить безопасность эксплуатации и надёжность конструкций, а так же повысить комфорт и создать благоприятный микроклимат внутри зданий.

Цель: изучить инженерно-технологические приёмы и материалы для строительства модульных домов. Предложить оптимальные решения по обеспечению долговечности и энергоэффективности модульных домов на территории Республики Крым.

Методы: анализ природно-геологических условий, моделирование нагрузок с учётом эластичных демпферов.

Результат: в статье изучены инженерно-технические решения и материалы для строительства модульных домов. Выявлены основные проблемы при их эксплуатации на территории Республики Крым. В связи с особыми климатическими и инженерно-геологическими условиями региона, разработаны рекомендации, позволяющие обеспечить безопасность эксплуатации и надёжность конструкций.

Новизна: предложены оптимальные решения по обеспечения долговечности и энергоэффективности модульных домов на территории Республики Крым.

Ключевые слова: Республика Крым, модульный дом, пиломатериалы, SIP-панели, природно-климатические условия.

ВВЕДЕНИЕ

Модульное домостроение развивается высокими темпами. С учётом природно-климатических особенностей Республики Крым, модульное строительство требует разработки инженерно-технических решений, позволяющих снизить негативные последствия для конструкций. В статье описаны методы и материалы, повышающие энергоэффективность и прочность модульных домов. Определена оптимальная толщина SIP-панелей, изучены вопросы применения термодревесины, гибких амортизаторов и антикоррозийных покрытий.

В статье выполнено комплексное исследование: изучен климат и геологические особенности региона, выполнено моделирование с учётом сейсмических нагрузок, климатических и инженерно-геологических особенностей региона.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ; МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

В монографиях Барабаша М.Б. и Логвиновой К.Т. (1982) [2] и в исследовании Присенко В.Г. с соавторами (2014) [3, 10] подробно рассмотрены климато-геологические особенности Крыма, включая экстремальные температурные колебания, карстовые просадки и прибрежную агрессивность среды. Технические характеристики SIP-панелей толщиной 124–224 мм и термомодифицированной древесины освещены в работах Е.И. Исаевой [4] и на порталах «Хороший Дом» [5], A&D MODULE [6] и Scandyhouse.ru [7]. Быстровозводимые технологии и демпферные соединения подробно описаны в трудах Мушинского А.Н. и Зимина С.С. (2015) [10] и Яковлева Р.Н. (2008) [11], а актуальная нормативная база по свайным фундаментам представлена СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты [12], регламентирующим глубину заложения и коррозионную защиту в карстовых и прибрежных грунтах. Исследование базируется на системно-структурном подходе, в рамках которого предполагаются изучение работы материалов на циклы «мороз–оттепель» и влагостойкость, учёт ветровых нагрузок до 35 м/с и сейсмических воздействий до 7 баллов с учётом демпферных узлов, а также анализ нормативной базы для возведения и эксплуатации модульных домов.

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель исследования - изучить инженерно-технологические приёмы и материалы для строительства модульных домов, с учётом климатических и инженерно-геологических особенностей Крыма. Для её достижения необходимо проанализировать климато-геологические

параметры региона на основе указанных источников, выполнить анализ работы SIP-панелей и термодревесины на влагостойкость и морозостойкость, смоделировать ветровые и сейсмические воздействия с учётом демпферных соединений и на основании полученных данных сформировать рекомендации по проектированию, возведению и эксплуатации модульных домов.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Модульные дома — сборные конструкции из готовых блоков/секций — стали популярным решением во многих странах. Однако в регионах с уникальным климатом, таких как Крым, их использование требует особого подхода.

При проектировании на территории Республики Крым, следует учитывать сложные инженерно-геологические условия и природно-климатические особенности:

- повышенная влажность воздуха;
- значительные сезонные перепады температур «лето-зима»;
- ветровые нагрузки;
- сейсмичность территории;
- сложные инженерно-геологические условия.

Эти факторы влияют на выбор материалов, конструкцию домов и их долговечность.

Применение технологии возведения модульных домов позволит сократить сроки строительства, минимизировать отходы и адаптировать конструкцию под конкретные условия.

Каркасная технология (пиломатериалы): деревянный каркас из клееного бруса или LVL-балок заполняется утеплителем (минеральная вата, эковата) и обшивается плитами (OSB, ЦСП) (рис. 1). Подходит для возведения в регионах с умеренной влажностью воздуха.

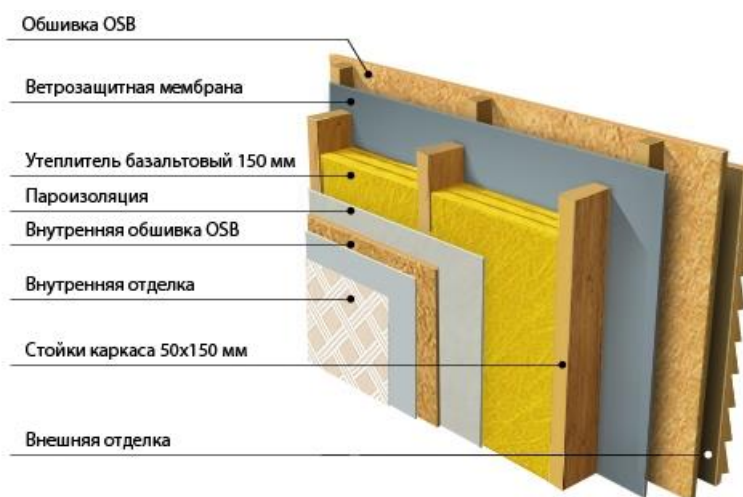


Рис. 1. Состав наружной ограждающей конструкции каркасного дома

SIP-панели (Structural Insulated Panel): сэндвич-панели из OSB-плит с пенополистирольным утеплителем. Отличаются высокой энергоэффективностью и быстрым монтажом, но требуют герметизации и эффективной вентиляции из-за чувствительности к влаге.

В России отсутствуют единые стандарты для SIP-домов, что создаёт определенные сложности при проектировании.

В таблице 1 представлены оптимальные размеры SIP-панелей.

Таблица 1. Оптимальные размеры SIP-панелей

Параметр	Значение
Толщина панели	124 мм (OSB 12 мм + утеплитель 100 мм + OSB 12 мм)
	174 мм (OSB 12 мм + утеплитель 150 мм + OSB 12 мм)
	224 мм (утеплитель 200 мм, усиленный вариант для пола) на рисунке 3,4 показаны узлы соединения
Ширина панели	1250 мм (стандарт), после распила – 622 мм
Высота панели	2500 мм (для одноэтажных домов)
	2800 мм (для двухэтажных зданий или помещений с высокими потолками)

Ширина панелей, сокращенная до 622 мм, за счет распила стандартных плит пополам (потеря 3 мм из-за толщины пилы), повышает жесткость конструкции вследствие увеличения количества укрепленных стыков.

Соединение обвязки для СИП-панелей выполняется с использованием бруса сечением 190×45 мм, который предварительно проходит калибровку на острожку для обеспечения плотного прилегания элементов. Перед установкой бруса на оголовки свай диаметром 108 мм обязательно укладывается двойной слой рубероида толщиной 3 мм в качестве гидроизоляционной прокладки, предотвращающей капиллярный подсос влаги.

Основное крепление осуществляется при помощи саморезов СК 10×280 мм, которые обеспечивают надежную фиксацию конструкции. Дополнительную устойчивость и сопротивление сдвигающим нагрузкам создают шурупы ШК 10×120 мм с увеличенными шайбами, устанавливаемые в количестве 4 штук на каждый узел соединения. Для усиления конструкции по всей длине обвязки с шагом 150 мм в шахматном порядке забиваются гвозди 4×90 мм, что придает системе дополнительную жесткость.

Узлы соединения пола с обвязкой представлены на рисунке 2.

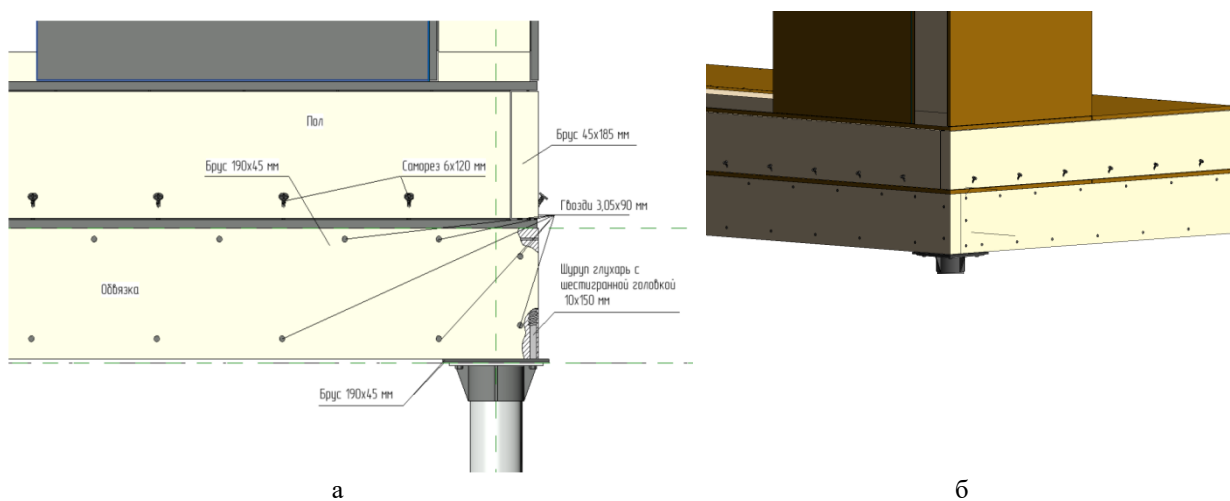


Рис. 2. Узел соединения пола с обвязкой (а - боковой вид, б - аксонометрия)

Перед монтажом все деревянные элементы должны быть обработаны антисептическими составами и антипиренами для защиты от биологического поражения и повышения огнестойкости. Особое внимание следует уделить точности установки - оголовки свай должны быть выведены в строгую горизонтальную плоскость, а крепежные элементы затягиваться равномерно без перекосов. В районах с повышенной влажностью рекомендуется использовать оцинкованный крепеж для предотвращения коррозии. Такая система соединения обеспечивает необходимую прочность и долговечность обвязочного контура, создавая надежную основу для последующего монтажа СИП-панелей и формирования жесткой каркасной конструкции здания. На рисунках 3 и 4 представлены конструктивные узлы обвязки для SIP-панелей.

Испытания на вертикальную нагрузку показали, что панели выдерживают до 12–13 тонн на погонный метр, что эквивалентно средней нагрузке от трёхэтажного здания. Представленный тип узла соединения обвязки обеспечивает устойчивость к горизонтальным нагрузкам, включая ветровую (до 30 м/с) и сейсмическую нагрузки.

Сопротивление теплопередаче SIP-панелей при 150 мм пенополистирола: 3,95 Вт/м²·°С (в 2,8 раза выше, чем у кирпичной стены 510 мм), а при 200 мм пенополистирола - ещё выше, что делает SIP-дома энергоэффективными и оптимальными для регионов с перепадами температур.

Требования к конструкциям проектируемого здания:

- сейсмостойкость;
- защита от ветра (усиленное крепление кровли, ветрозащитные экраны, аэродинамические формы зданий);

- терморегуляция (вентилируемые фасады и отражающие покрытия снижают перегрев и теплопотери).

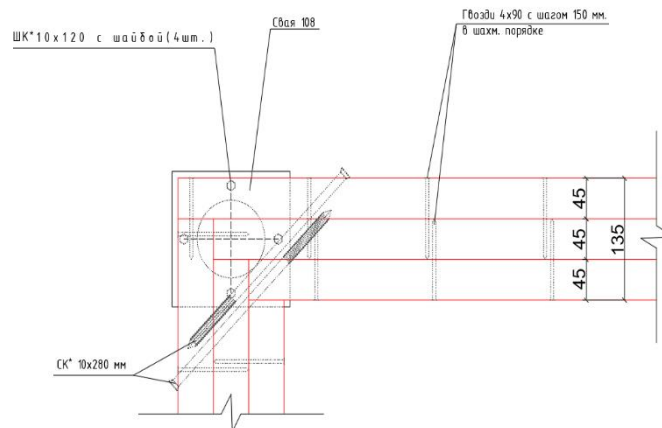


Рис. 3. Узел соединения обвязки. Вид сверху

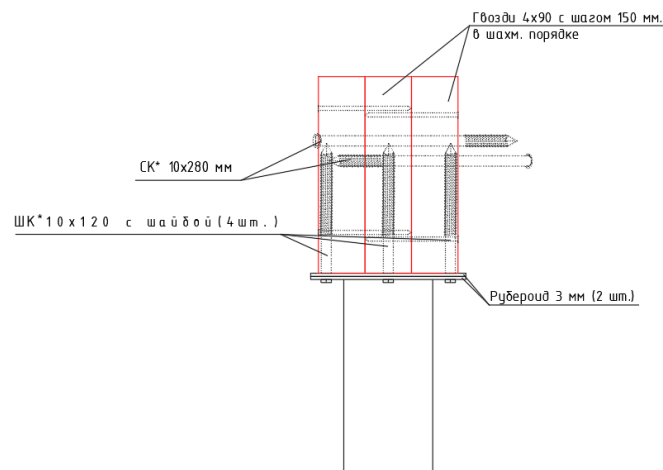


Рис. 4. Узел соединения обвязки. Вид сбоку

Фундаменты необходимо проектировать с учетом сейсмической опасности региона и в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.

Карстовые грунты, склонные к просадкам, требуют гибкости конструкции. Модули соединяются через демпферные прокладки из резины или полиуретана, которые компенсируют микроподвижки основания. Глубина заложения фундамента должна быть ниже активной зоны карста — на 2–3 метра, где грунт стабилен.

Проблема влажности и соленого воздуха в прибрежных зонах решается заменой стандартных металлических элементов на нержавеющую сталь или алюминиевые сплавы, устойчивые к коррозии. Деревянные конструкции, включая каркасы и обшивку, пропитываются антисептиками глубокого проникновения (например, на основе бора), а также восковыми составами, которые создают гидрофобный барьер. Для дополнительной защиты вентилируемые фасады могут быть облицованы керамогранитом или фиброцементными плитами, устойчивыми к солевым испарениям.

Борьба с грызунами в степных районах включает установку металлических сеток с мелкой ячейкой (не более 5 мм) по периметру цоколя и под полом. Сетки изготавливаются из оцинкованной стали и монтируются с уклоном наружу, чтобы перекрыть доступ вредителям. Дополнительно в утеплитель добавляют антисептические добавки, отпугивающие грызунов, например, борную кислоту.

Пожарная безопасность обеспечивается многоуровневыми мерами. Материалы пропитываются антипиренами, которые замедляют воспламенение: например, деревянные балки обрабатываются составами на основе фосфата аммония, а SIP-панели — огнестойкими модификациями пенополистирола (класс горючести Г1). Электропроводка прокладывается в металлических гофрах, скрытых между слоями гипсокартона: первый слой служит основой, второй

маскирует коммуникации, а третий, из огнестойкого ГКЛ, повышает предел огнестойкости до 60 минут. В отделке исключаются горючие материалы: вместо обоев применяют минеральные штукатурки с вермикулитом, а напольные покрытия выбирают из керамогранита или линолеума с классом пожарной безопасности КМ1.

Таким образом, модульные дома на основе SIP-панелей и каркасных технологий представляют собой эффективное решение для малоэтажного строительства в Крыму, сочетая прочность, энергоэффективность и устойчивость к климатическим условиям.

Крымский полуостров отличается уникальным сочетанием климатических, геологических и экологических факторов, которые требуют особого подхода к проектированию модульных домов. Рассмотрим ключевые аспекты и методы их компенсации.

Резкие суточные перепады температур (от +10°C днем до -5°C ночью зимой) провоцируют циклы замораживания и оттаивания материалов (таблица 2).

Таблица 2. Анализ последствий суточных перепадов температур (от +10°C днем до -5°C ночью зимой)

Материал	Проблемы	Последствия	Предлагаемые решения	Универсальные меры
Пиломатериалы	Впитывание влаги днем → расширение при замерзании ночью.	Микротрещины, деформация, гниение, рост плесени.	- Использование термо-модифицированной древесины (обработка паром при 200°C), снижающей гигроскопичность на 40–50%. - Покрытие гидрофобными составами с УФ-фильтрами (например, полиуретановые лаки с наночастицами оксида цинка)	Вентилируемые фасады с зазором 30–50 мм для отвода конденсата
SIP-панели	Проникновение влаги в стыки → разрушение клеевых соединений при замерзании.	Расслоение панелей, разбухание OSB, потеря теплоизоляции пенополистиролом.	Замена OSB на цементно-стружечные плиты (ЦСП) или ДВП высокой плотности с влагостойкой пропиткой. Герметизация швов бутилкаучуковыми лентами и эластичными клеями (например, MS-полимеры).	

Характеристики грунтов и сейсмической активности Крыма приведены в таблице 3.

Таблица 3. Характеристики грунтов и сейсмическая активность в Республике Крым

Геологическая зона	Характеристики	Риски	Инженерные решения
Карстовые плато	Известняковые породы с подземными полостями.	Просадки фундаментов до 10–15 см.	Винтовые сваи с глубинной анкерровкой (до 4 м) + гибкие демпферные соединения модулей.
Глинистые почвы	Высокое пучение при замерзании.	Деформация фундаментов.	Мелкозаглубленные ленточные фундаменты с дренажным слоем из щебня и геотекстиля.
Прибрежные зоны	Высокая соленость грунтовых вод.	Коррозия металлических элементов фундаментов.	Сваи из стеклопластика или оцинкованной стали с полимерным покрытием.

В горных районах Кавказа успешно применяются модульные дома на сейсмостойких фундаментах с шагом свай не более 1.5 м. Для Крыма рекомендована аналогичная схема, но с усиленной антикоррозийной защитой из-за соленого воздуха.

Ключевой задачей в эксплуатации модульных домов в Крыму является их адаптация к агрессивным климатическим и геологическим факторам. Для этого необходимо минимизировать энергопотери в условиях экстремальных температур. Летом, при температурах до +40°C, важно предотвратить перегрев помещений. Для этого применяются интеллектуальные системы остекления, такие как двойные стеклопакеты, заполненные аргоном, и окна с автоматическим

затемнением, снижающие теплоприток на 30%. В модульном отеле под Ялтой внедрение подобных технологий в сочетании с солнечными панелями, интегрированными в кровлю, позволило сократить энергопотребление на 45% по сравнению с традиционными зданиями. Зимой, при температурах до -5°C , эффективность отопления повышают рекуператоры воздуха, сохраняющие до 80% тепла за счет рециркуляции.

Высокая влажность и соленость воздуха в прибрежных районах ускоряют коррозию металлических элементов и деградацию древесины. Для защиты металлоконструкций используются оцинкованные крепежи и сваи с полимерным покрытием, а деревянные каркасы пропитываются антисептиками на основе бора, блокирующими развитие плесени и насекомых. Вентилируемые фасады с зазором 30–50 мм обеспечивают отвод конденсата, что предотвращает разбухание OSB-плит. Успешным примером адаптации стал проект в Судаче, где замена OSB на влагостойкие цементно-стружечные плиты (ЦСП) в сочетании с аэродинамической облицовкой устранила деформацию стен уже через год эксплуатации.

Сейсмические риски, характерные для горных районов Крыма, требуют применения гибких инженерных решений. Динамические демпферы, установленные в узлах каркаса, гасят колебания при землетрясениях до 6–7 баллов, а эластичные соединения между модулями компенсируют подвижки грунта. Мониторинг деформаций с помощью гироскопов и гигрометров позволяет своевременно выявлять смещения конструкций. Например, модульная школа в Симферополе (рисунок 5), построенная на винтовых сваях с гибкими стальными связями, успешно выдержала землетрясение силой 5 баллов без структурных повреждений.

Техническое обслуживание играет ключевую роль в продлении срока службы модульных домов. Ежегодная проверка герметичности швов SIP-панелей предотвращает расслоение стыков и потерю теплоизоляции. Очистка дренажных систем от засоров снижает риск протечек и намокания фундамента. Обновление антипиренов и антикоррозийных покрытий каждые 3–5 лет сохраняет огнестойкость и устойчивость материалов к влаге. Эти меры обеспечивают срок эксплуатации модульных домов до 50 лет, что сопоставимо с кирпичными зданиями.

По сравнению с капитальным строительством, эксплуатационные затраты на 20–30% ниже благодаря энергоэффективности (солнечная генерация, рекуперация) и простоте локального ремонта. Углеродный след модульных домов на 40% меньше, чем у бетонных аналогов, за счет сокращения отходов при производстве и монтаже. Кроме того, ремонтпригодность конструкций позволяет заменять отдельные модули без нарушения целостности здания, что невозможно в традиционном строительстве, требующем масштабных работ.



Рис. 5. Модульная школа в г. Симферополь

Таким образом, эксплуатация модульных домов в Крыму демонстрирует их конкурентоспособность при условии комплексного подхода, включающего адаптивные технологии,

регулярный мониторинг и профилактическое обслуживание. Дальнейшие исследования должны быть направлены на оптимизацию материалов для усиленной защиты от солености и разработку региональных стандартов, учитывающих специфику полуострова.

ВЫВОДЫ

Возведение модульных домов на территории Республики Крым является перспективным направлением, однако, требует комплексного подхода к проектированию и строительству.

В статье рассмотрены инженерно-технологические мероприятия и материалы для строительства модульных домов.

В результате исследования, предложены оптимальные решения по обеспечению долговечности и энергоэффективности модульных домов на территории Республики Крым, включающие адаптивные технологии, регулярный мониторинг и профилактическое обслуживание.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В будущем стоит сосредоточиться на разработке региональных стандартов для SIP-панелей, а также на простых методах проверки герметичности стыков и теплопотерь прямо на стройке. Для повышения сейсмоустойчивости таких зданий, важно разработать технические решения, учитывающие особенности грунта. Также необходимо выполнить моделирование и проверку разработанных решений в различных климатических условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеенко, В. Н. Проектирование, строительство и эксплуатация зданий в сейсмических районах / В. Н. Алексеенко, О. Б. Жиленко. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2021. – 226 с. – (Высшее образование: Бакалавриат). – ISBN 978-5-16-014705-5. – DOI 10.12737/1000210. – EDN AKIVDR.
2. Барабаш, М.Б. Климат и опасные гидрометеорологические явления Крыма/ М.Б. Барабаш, К.Т. Логвинова. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 317 с.
3. Достоинства и недостатки строительства из SIP-панелей // Хороший Дом. URL: <http://www.good-house.ru/1221/> (дата обращения: 05.06.25).
4. Исаева, Е. И. Быстровозводимые здания / Е.И. Исаева // СтройПРОФиль. - 2009. –№3(73). – С. 182-193.
5. Как устроены модульные дома // Т-Ж. URL: <https://t-j.ru/guide/modular-house/> (дата обращения: 05.06.25).
6. Климат Крыма // АЗОВСКИЙ курортная сеть. URL: <https://azovsky.ru/interesnoe-o-krume/klimat-kruma/> (дата обращения: 05.06.25).
7. Модульные дома. Материалы. Справочная информация // A&D MODULE. URL: <http://www.ad-m.info/materials.html> (дата обращения: 05.06.25).
8. Мушинский, А.Н. Строительство быстровозводимых зданий и сооружений / А.Н. Мушинский, С.С. Зимин // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – №4(31). – С. 182-193.
9. Присенко, В. Г. Природно-климатические особенности Крыма и здоровье населения / В. Г. Присенко, Е. Р. Махамова, А. В. Детарко // Инновации в науке. – 2014. – № 39. – С. 190-194. – EDN TAMKML.
10. СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. Минрегион России. М.: ОАО "ЦПП", 2011. – 152 с.
11. Яковлев, Р. Н. Новые методы строительства / Р.Н. Яковлев // Технология «ТИСЭ», 2008. – С. 124-167.
12. Сильченко, В. С. Влияние природно-климатических факторов на строительство зданий в северных регионах России / В. С. Сильченко, О. Б. Жиленко // Нормирование и оплата труда в строительстве. – 2019. – № 11. – С. 45-52. – EDN UOZGSK.
13. Авдиенко, Т. О. Высокие технологии в строительстве энергоэффективных зданий / Т. О. Авдиенко, О. Б. Жиленко // Строительство и техногенная безопасность. – 2019. – № 17(69). – С. 111-118. – EDN IMYGAO.
14. Голикова, А.А. Пассивный дом (экодом) / А.А. Голикова, З.С. Нагаева // Строительство и техногенная безопасность. – 2019. – №14(66) – С. 16. EDN: BVVYOU

15. Табунщиков Ю.А. Энергоэффективные здания / Ю.А. Табунщиков, М. М. Бродач, Н. В. Шилкин. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. Раздел I. EDN: SXQNTF
16. Табунщиков, Ю.А. Научные основы проектирования энергоэффективных зданий / Ю.А. Табунщиков, М. М. Бродач. – М.: АВОК-ПРЕСС, 1998. – №1. – С. 5-13.
17. Вольфганг Файст. Основные положения по проектированию пассивных домов / Файст Вольфганг. – М.: АСВ, 2011. – 148 с.
18. Лапин, Ю.Н. Экожилье - ключ к будущему / Ю.Н. Лапин. – М.: Алгоритм, 1998. – 155 с.
19. Лапин, Ю.Н. Автономные экологические дома / Ю.Н. Лапин. – М.: Алгоритм, 2005. – 414 с. EDN: QNLVHV
20. Свиридова, Е.В. Эффективная теплоизоляция. / Е.В. Свиридова // Технологии строительства. – 2017. – №3.119. – С. 34-35.
21. Антонов, В.М. Проектирование зданий при особых условиях строительства и эксплуатации: Учеб.пособ. / В.М. Антонов, В.В. Леденев, В.И. Скрылев. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2002. – 240 с.

CONSTRUCTION AND OPERATION OF MODULAR HOUSES IN THE NATURAL AND CLIMATIC CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF CRIMEA

¹Zhilenko O.B., ²Marinich D.A.

^{1,2}V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea

Annotation. The pace of modular home construction in the Republic of Crimea is increasing every year. Their application is expanding, and standard designs are emerging. Due to the region's climatic and geological engineering features, specialized design solutions are required to ensure operational safety and structural reliability, as well as improve comfort and create a favorable indoor microclimate.

Objective: To study engineering techniques and materials for modular home construction. To propose optimal solutions for ensuring the durability and energy efficiency of modular homes in the Republic of Crimea.

Methods: Analysis of natural and geological conditions, load modeling using elastic dampers.

Result: This article examines engineering solutions and materials for modular home construction. The main challenges associated with their operation in the Republic of Crimea are identified. Given the region's unique climatic and geological engineering conditions, recommendations are developed to ensure operational safety and structural reliability.

Novelty: Optimal solutions are proposed to ensure the durability and energy efficiency of modular homes in the Republic of Crimea.

Keywords: Republic of Crimea, modular home, lumber, SIP panels, natural and climatic conditions.