

## СЕЙСМОЛОГИЯ

Э.М. Муратбеков  
Э.У. Казатов  
А.П. Скрябин

### ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АНГАРА ДЛЯ ЛАБОРАТОРИИ ИСПЫТАНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗ ЛЕГКИХ СТАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

**Аннотация:** В статье представлен опыт проектирования и реализации прямостенного ангара из легких стальных холодногнутых профилей, предназначенного для лаборатории по исследованию строительных материалов. Освещены ключевые этапы сотрудничества компании *USTA International* и Государственного института сейсмостойкого строительства и проектирования (ГИССИП). Подчеркивается значимость использования современных технологий параметрического моделирования и нормативного регулирования для обеспечения надежности и долговечности конструкций. Приведен анализ ключевых проблем проектирования и эксплуатации быстровозводимых конструкций, а также предложены пути их решения.

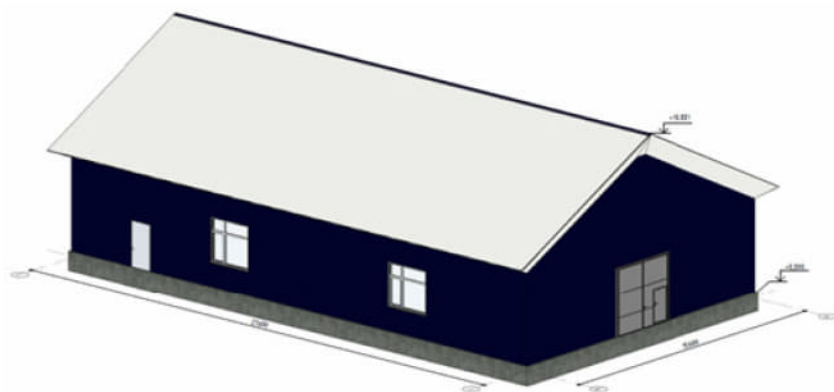
#### Введение

С учетом стремительного роста населения и интенсивного развития городов Кыргызстана, потребность в ускоренном и экономичном строительстве промышленных объектов становится особенно важной [1]. Традиционные методы возведения производственных и складских зданий часто не соответствуют современным требованиям бизнеса, который нуждается в просторных и эффективных помещениях, готовых к эксплуатации в кратчайшие сроки [2]. В этом контексте особый интерес представляют

легкие быстровозводимые конструкции, способные существенно сократить сроки и затраты на строительство [3].

Такой подход особенно актуален для отдаленных регионов с ограниченной инфраструктурой, где быстрое возведение промышленных объектов способствует поддержке экономического развития и созданию новых рабочих мест. Современные технологии, используемые в создании быстровозводимых конструкций, позволяют не только сократить время строительства, но и существенно повысить качество объектов.

#### Характеристика объекта



(рис 1) Общий вид на ангар

Конструкция прямостенного ангара предназначена для лаборатории по исследованию строительных материалов. Основу здания составляет металлический каркас, выполненный из холодногнутых профилей

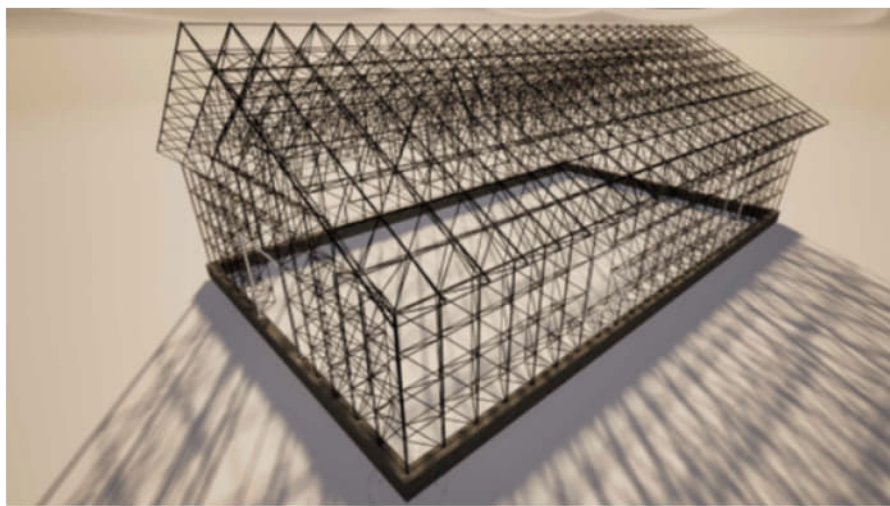
С-образного сечения с толщиной стенок 1,2 мм.

Ангар представляет собой одноэтажное здание площадью 448 м<sup>2</sup> с высотой до конька крыши 9,5 м. Каркас ангара состоит

из главных несущих рам, расположенных с шагом 3,5 м, которые соединяются горизонтальными и вертикальными связями для обеспечения устойчивости. Для ограждающих конструкций использованы легкие сэндвич-панели, что улучшает теплоизоляцию и снижает нагрузку на несущие элементы.

Фундамент здания монолитный ленточного типа, выполненный из железобетона марки В25 с расчетной толщиной 0,8 м. Основание ангара опирается на плотные грунты с модулем деформации 30,0–35,0 МПа. При проектировании фундамента были учтены все нагрузки, включая статические от собственного веса конструкции и динамические от ветровых и сейсмических воздействий.

#### Совместная работа USTA International и ГИССИП



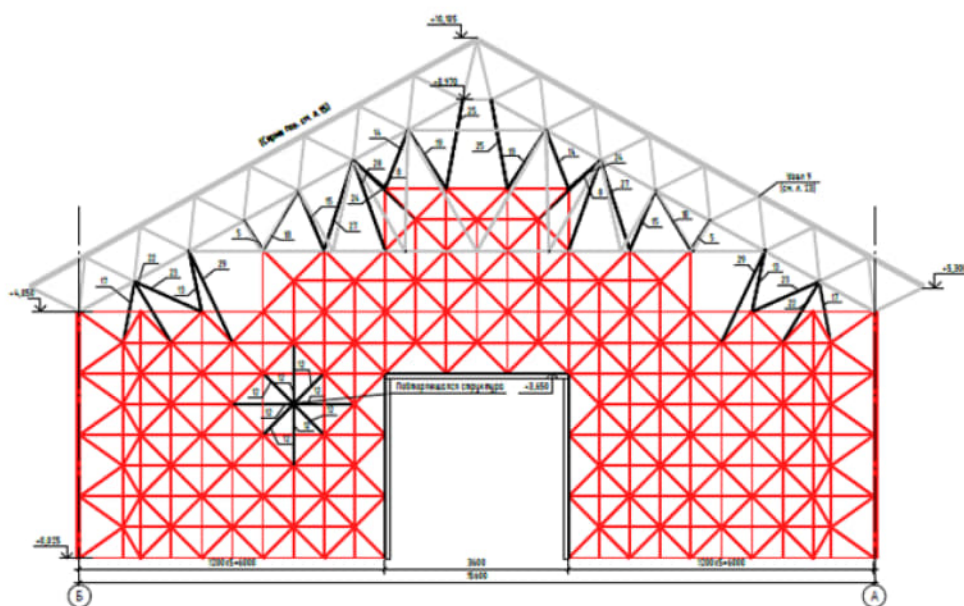
(рис 2) Конструкция ангара

Проектирование и строительство прямо-стенного ангара для лаборатории по исследованию строительных материалов стали результатом эффективного сотрудничества компании *USTA International* и Государственного института сейсмостойкого строительства и проектирования (ГИССИП). Обе организации тесно взаимодействовали на всех этапах реализации, что позволило добиться высокого качества проектных решений и обеспечить контроль за всеми этапами работы.

Компания *USTA International* взяла на себя разработку проектной документации,

включая рабочие чертежи и необходимые инженерные расчеты для проектирования прямо-стенной конструкции с использованием холодногнутых С-образных профилей толщиной 1,2 мм.

ГИССИП, в свою очередь, провел испытания узловых соединений конструкции, используя специально разработанные испытательные установки, адаптированные под особенности проекта. Эти установки позволили проверять узлы конструкции под воздействием различных типов нагрузок, включая собственный вес конструкции, а также специальные нагрузки, связанные с сейсмическим воздействием.



(рис 3) Чертеж

Проект ангара предусматривал эксплуатацию в регионе с повышенной сейсмической активностью, что сделало необходимым особое внимание к поведению узловых соединений при сейсмических нагрузках. Для этого были использованы данные, рассчитанные в программном комплексе *ЛИРА САПР 2021*, которые учитывали все возможные воздействия на конструкцию. Результаты испытаний подтвердили соответствие конструкции требованиям сейсмостойкости, установленным в СН КР 20-02:2018 [4].

Одним из ключевых этапов взаимодействия между *USTA International* и ГИССИП стало приведение проектных решений в полное соответствие с действующими национальными нормативами. На основе проведенных испытаний и результатов расчетов были внесены изменения в конструктивные узлы ангара, включая усиление наиболее нагруженных элементов и оптимизацию распределения нагрузок.

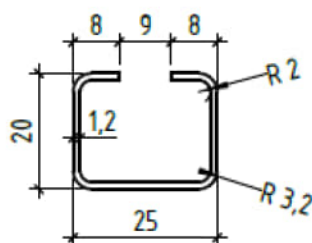
#### Методы и технологии проектирования

Проектирование прямостенного ангара для лаборатории по исследованию строительных материалов было выполнено с использованием современных методов и технологий, обеспечивающих точность, гибкость и оптимизацию на всех этапах работы.

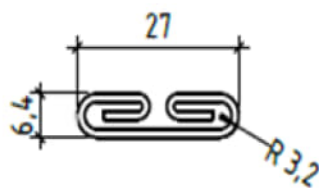
Основной программный комплекс, использованный для создания проектных решений, — Autodesk Inventor. Этот инструмент позволил создать параметрическую модель ангара, которая служила основой для расчетов и проектирования [5]. Моделирование в Autodesk Inventor было основано на параметрическом подходе, что означало, что изменения в одном параметре, например, в размере профиля или узла, автоматически корректировали другие элементы конструкции, которые зависели от этого параметра. Это обеспечивало гибкость в проектировании и позволяло быстро адаптировать модель под изменения в проекте, без необходимости перепроектировать всю систему.

Процесс проектирования включал следующие этапы:

1. Моделирование профилей. В программе был создан 3D-макет конструктивных элементов, таких как холодногнутые профили С-образного сечения. Моделирование профилей включало точное соблюдение геометрии, с учётом всех допусков и стандартов, применяемых в строительной отрасли. Параметрическое моделирование этих профилей позволило легко вносить изменения в их геометрию, если требовалась адаптация к новым условиям или нормативам.



(рис 4) Сеч. профиля



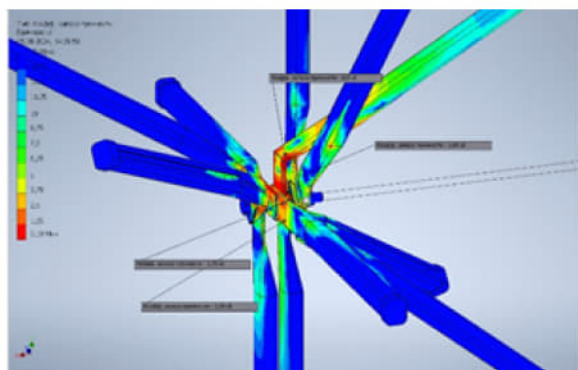
(рис 5) Сеч. профиля 2



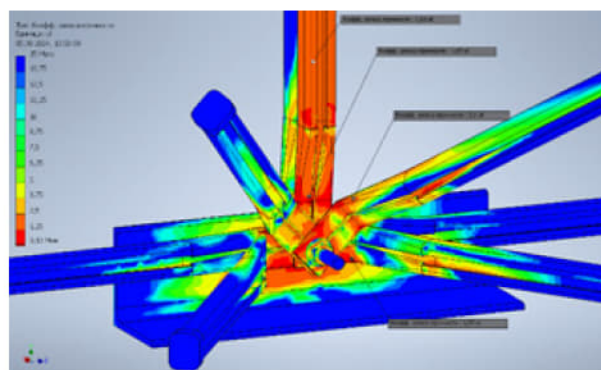
(рис 6) Гнутый профиль

2. Моделирование узловых соединений. Одним из ключевых элементов в проектировании стали узловые соединения между профилями. Для каждого узла был создан параметрический шаблон, который позволил учитывать все изменения в геометрии соединений. Например, изменение угла наклона стен или изменение нагрузки автоматически приводило к корректировке соответствующих соединений, что значительно упростило и ускорило процесс проектирования.

3. Распределение нагрузок. В Autodesk Inventor была проведена первичная оценка распределения нагрузок по узловым соединениям. Это включало расчет сил, действующих на элементы ангара, такие как собственный вес. Каждому элементу конструкции была назначена соответствующая нагрузка, что позволяло точно рассчитать напряжения и деформации. Визуализация этих нагрузок в 3D позволила убедиться в правильности проектных решений и выявить потенциально слабые места конструкции.



(рис 7) Нагружение узла

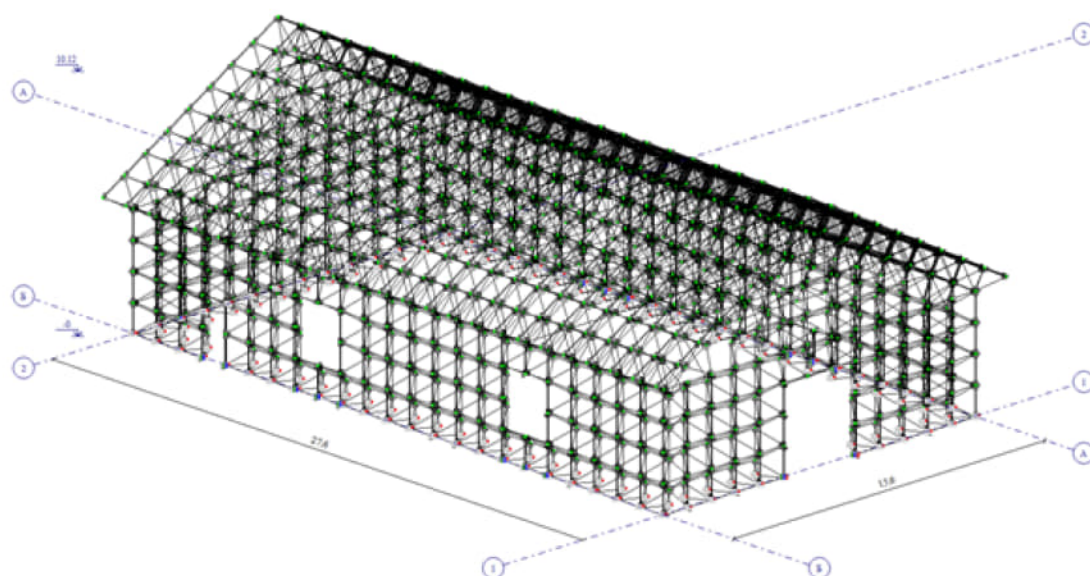


(рис 8) Нагружение опорного узла

Для выполнения более глубоких инженерных расчетов был использован программный комплекс ЛИРА САПР 2021, который позволил смоделировать поведение всей конструкции под воздействием различных нагрузок.

1. Сейсмическое моделирование. С учетом того, что проект ангара предусматривал эксплуатацию в сейсмоактивных районах,

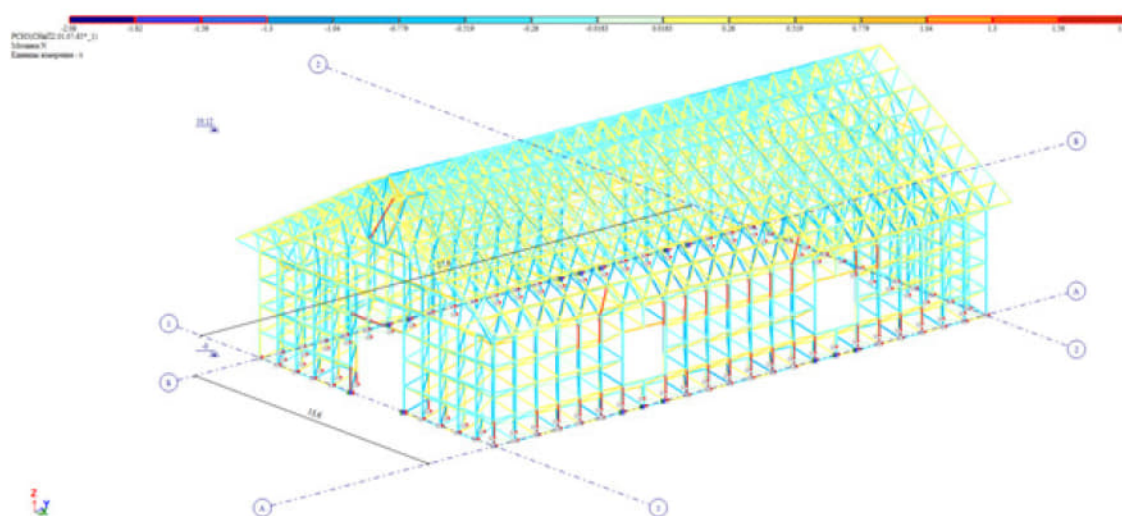
программа ЛИРА САПР использовалась для проведения сейсмического анализа конструкции. В модель были внесены данные о сейсмическом воздействии, полученные с использованием расчетных стандартов для сейсмостойкости, в том числе для регионов с повышенной сейсмичностью. В результате были получены подробные данные о напряжениях, возникающих в узловых соединениях при сейсмических колебаниях.



(рис 9) Расчетная модель

2. Оптимизация нагрузки. ЛИРА САПР позволила провести расчет распределения нагрузок по всей конструкции ангара. В частности, анализировались реакции на ветровые и снеговые нагрузки, а также воз-

действие тяжести самой конструкции. Это позволило оптимизировать проект, перераспределив нагрузки между конструктивными элементами и снизив излишние расчётные значения на узлы.



(рис 10) Максимальные усилия N в стержнях

3. Интеграция результатов с параметрической моделью. Результаты расчетов, полученные в ЛИРА САПР 2021, были интегрированы с параметрической моделью в Autodesk Inventor. Это позволило уточнить и доработать проект, внося коррективы в геометрию узловых соединений и усиление отдельных конструктивных элементов, что обеспечило более высокую прочность и долговечность всего здания.

### Испытания узловых соединений

Важнейший этап проекта прямостенного ангара для лаборатории по исследованию строительных материалов — это испытания узловых соединений. Для проверки прочности узловых соединений ГИССИПом были разработаны специализированные испытательные установки, учитывающие особенности геометрии и нагрузок конструкции. Эти установки позволили воспроизводить реаль-

ные условия эксплуатации, включая сейсмические, а также воздействие собственного веса. Каждое узловое соединение прошло серию тестов на прочность, устойчивость и долговечность.

Испытания узлов на сейсмическую активность были приоритетными, так как проект ангара предусматривал его эксплуатацию в сейсмоактивных регионах. Для этого использовались данные, рассчитанные с учетом стандартов СН КР 20-02:2018 [4]. На каждой испытательной установке узлы подвергались постепенному увеличению нагрузки, что позволило выявить предел прочности и деформации в условиях экстремальных нагрузок.

Испытания показали, что узлы, предназначенные для соединения элементов ангара, выдерживают все испытания, включая динамические нагрузки, что подтверждает их соответствие сейсмостойким и нагрузочным требованиям. Эти данные использовались для оптимизации конструкции, улучшения ее сейсмоустойчивости и перераспределения нагрузок между ключевыми элементами.

**Заключение:** Применение легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) в строительстве открывает значительные перспективы для модернизации строительной отрасли Кыргызстана. Проектирование и реализация прямостенного ангара для лаборатории по исследованию строительных материалов продемонстрировали возможно-

сти современных методов проектирования, таких как параметрическое моделирование и цифровые расчеты. Совместная работа *USTA International* и Государственного института сейсмостойкого строительства и проектирования (ГИССИП) показала, что интеграция технологий и строгий контроль качества на всех этапах разработки и строительства позволяет добиться надежности и долговечности конструкций.

Однако успешное внедрение ЛСТК требует значительного совершенствования нормативной базы. Необходима разработка специализированных стандартов, включающих расчетные методики, типовые проектные решения и рекомендации по эксплуатации ЛСТК в сейсмоактивных регионах.

Реализация данного проекта стала примером того, как современные подходы могут быть адаптированы к локальным условиям, обеспечивая высокие эксплуатационные характеристики и соответствие международным стандартам. Этот опыт подчеркивает необходимость дальнейшего развития технологий ЛСТК в Кыргызстане, что будет способствовать росту конкурентоспособности национальной строительной отрасли, созданию энергоэффективных зданий и сокращению сроков реализации крупных проектов.

Строительство на основе ЛСТК закладывает прочный фундамент для устойчивого развития инфраструктуры, поддерживая современные тенденции цифровизации и инновационного подхода к проектированию и строительству.

#### Литература:

1. Анализ демографической ситуации в Кыргызстане: обновление 2020 г. — Бишкек: ООН в Кыргызстане, 2020. — 75 с.
2. **Аннагелдийев Н., Ялкапова М., Акмаммедов Ч.** Эволюция строительных стандартов: от традиционных норм к современным требованиям устойчивости // Вестник науки. 2024. №9 (78). С. 440–443. ISSN 2712-8849.
3. **Аннагелдийев Н., Ялкапова М., Акмаммедов Ч.** Техничко-экономические аспекты применения технологии ЛСТК при реконструкции зданий гражданского и сельскохозяйственного назначения // Фундаментальные исследования. — 2015. — №12. — С. 82–85.
4. СН КР 20-02:2018. Сейсмическое строительство. — Бишкек: Министерство архитектуры и строительства Кыргызской Республики, 2018. — 56 с.
5. **Григорьев А.П., Мельников С.К.** Параметрическое моделирование конструкций // Промышленное строительство. — 2020. — №1. — С. 28–33. — ISSN 1234-5678.