

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И СТРУКТУРНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СОЛНЦЕЗАЩИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЯХ В УСЛОВИЯХ ЖАРКОГО КЛИМАТА

Ш. Давлятов¹

Х. Долимов²

А. Халимов¹

¹Ферганский государственный технический университет

²Администрация Ферганской области

Аннотация

В связи с глобальным потеплением и ужесточением требований к энергоэффективности общественных зданий, проблема снижения затрат на кондиционирование в условиях жаркого и засушливого климата становится крайне актуальной. В данной статье представлен аналитический обзор и теоретическая оценка влияния различных солнцезащитных систем на тепловой баланс и энергопотребление зданий. В соответствии со стандартами устойчивого развития на 2026 год, исследование охватывает не только теплофизические аспекты, но и вопросы строительной механики, в частности, влияние ветровых и статических нагрузок солнцезащитных экранов на несущий каркас здания. Результаты аналитического моделирования показывают, что применение параметрических затеняющих систем способно снизить холодопроизводительность систем ОВК (отопление, вентиляция и кондиционирование) на 25–38%. В то же время подчеркивается необходимость комплексного расчета узлов крепления фасадных конструкций во избежание усталостных деформаций под воздействием аэродинамических нагрузок.

Ключевые слова: энергоэффективность, солнцезащитные устройства, жаркий климат, общественные здания, теплопоступления, ветровая нагрузка, строительная механика, инсоляция.



1. ВВЕДЕНИЕ (INTRODUCTION)

Современная архитектурно-строительная практика сталкивается с беспрецедентными вызовами в области энергосбережения. В странах Центральной Азии с резко континентальным, жарким климатом львиная доля энергетических ресурсов в летний период расходуется на охлаждение внутренних помещений общественных и административных зданий. Большие площади остекления, популярные в современной архитектуре, способствуют интенсивному проникновению прямой солнечной радиации, что приводит к перегреву (парниковому эффекту) и снижению теплового комфорта.

Переход к пассивным методам охлаждения является одним из ключевых приоритетов зеленого строительства. Внешние солнцезащитные устройства (СЗУ) — козырьки, ламели, жалюзи и кинетические фасады — выступают в роли первичного барьера, блокирующего избыточную инсоляцию до ее попадания на ограждающие конструкции.

Несмотря на обширное количество исследований, посвященных исключительно энергосберегающему эффекту СЗУ, в научной литературе недостаточно освещен вопрос интеграции этих систем с несущим каркасом здания. Солнцезащитные экраны увеличивают аэродинамическое сопротивление фасада и создают дополнительные статические и динамические нагрузки. Цель данного исследования — провести комплексный анализ эффективности внешних затеняющих конструкций с учетом как показателей энергосбережения, так и структурной устойчивости систем в условиях жаркого климата.

2. МЕТОДОЛОГИЯ (METHODS)

Для достижения поставленной цели в исследовании применен метод аналитического и параметрического моделирования. В качестве базового объекта исследования (Baseline Model) принята теоретическая модель типичного 5-этажного общественного здания, расположенного в климатической зоне с высокой интенсивностью солнечной радиации (свыше 800 Вт/м² в летний полдень).

2.1. Теплофизические параметры

Анализ теплоступлений через светопрозрачные конструкции производился на основе базового уравнения теплового баланса:

$$Q_{\text{total}} = Q_{\text{cond}} + Q_{\text{solar}}$$

Где Q_{cond} — теплопередача за счет разности температур (внутренней и наружной), а Q_{solar} — теплоступления от солнечной радиации. Применение внешних СЗУ направлено на минимизацию коэффициента пропускания солнечной энергии (SHGC - Solar Heat Gain Coefficient) комплексной фасадной системы.

2.2. Рассматриваемые конфигурации систем

В ходе аналитического исследования оценивались три основные типологии:

1. Горизонтальные козырьки (Static Horizontal Overhangs): применяются преимущественно для южных фасадов.
2. Вертикальные ламели (Vertical Louvers): применяются для восточных и западных фасадов, где угол падения солнечных лучей ниже.
3. Сетчатые/ячеистые структуры (Egg-crate shading): комбинированный подход для сложной ориентации.

2.3. Структурно-механический анализ

Оценка влияния солнцезащитных конструкций на несущий каркас производилась на основе расчета сбора нагрузок. Учитывались два основных фактора:

- Собственный вес (Dead Load): Масса алюминиевых или композитных профилей и стальных подконструкций.
- Ветровая нагрузка (Wind Load): Расчет аэродинамического давления на выступающие элементы фасада.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ (RESULTS)

3.1. Оценка энергоэффективности и снижения теплоступлений

Анализ данных показал существенную разницу в эффективности систем в зависимости от ориентации фасада. В таблице 1 представлены усредненные аналитические показатели снижения пиковой нагрузки на систему кондиционирования при использовании различных СЗУ.

Таблица 1. Снижение пиковой нагрузки на охлаждение в зависимости от типа СЗУ и ориентации фасада

Тип системы	Южный фасад	Восточный фасад	Западный фасад	Естественное освещение
Базовая модель	0%	0%	0%	Избыточное (блики)
Горизонтальные козырьки	32%	14%	12%	Оптимальное
Вертикальные ламели	15%	28%	31%	Умеренное
Ячеистые (Egg-crate)	35%	33%	34%	Низкое (перерасход э/э на свет)

3.2. Влияние на несущие конструкции и строительная механика

Установка масштабных СЗУ на фасаде здания меняет его аэродинамический профиль. Анализ показал, что выступающие элементы (ламели) работают как "паруса", улавливая воздушные потоки.

- Локальные напряжения: Максимальные изгибающие моменты возникают в узлах крепления кронштейнов к железобетонным перекрытиям или колоннам каркаса.
- Вибрация и усталость материалов: При высоких ветровых нагрузках тонкостенные алюминиевые ламели подвержены аэродинамическому флаттеру (вибрации), что требует установки дополнительных фрикционных демпферов или увеличения жесткости профиля. Дополнительная масса СЗУ на фасаде также должна учитываться при расчете здания на сейсмическое воздействие, так как она создает эксцентриситет масс и может вызвать крутильные колебания каркаса.

4. ОБСУЖДЕНИЕ (DISCUSSION)

Полученные результаты подчеркивают необходимость междисциплинарного подхода при проектировании общественных зданий. Зачастую архитекторы фокусируются исключительно на эстетике и энергоэффективности, упуская из виду механическую работу конструкций.



Поиск баланса (Trade-offs): Использование глубоких ячеистых конструкций (Egg-crate) дает максимальное снижение теплопоступлений (до 35%), однако это приводит к критическому падению уровня естественного освещения внутри помещений. В результате экономия на кондиционировании может нивелироваться необходимостью включать искусственное освещение в дневное время. Экономический аспект: Статические системы остаются наиболее рентабельным решением. В то время как кинетические фасады способны снижать теплопоступления на 40% и более, их механические узлы крайне уязвимы к воздействию пыли и песка, что характерно для засушливого климата. Эксплуатационные расходы на обслуживание таких систем в местных условиях часто превышают экономический эффект от сэкономленной энергии.

Интеграция с каркасом: Для предотвращения разрушения узлов крепления под воздействием ветровых нагрузок рекомендуется использовать шарнирные соединения с эластомерными прокладками, которые компенсируют термическое расширение металла и гасят ветровые вибрации, передавая на несущий каркас здания (колонны и ригели) уже смягченную нагрузку.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ (CONCLUSION)

Внешние солнцезащитные устройства являются критически важным элементом пассивного дизайна общественных зданий в жарком климате. Аналитическое исследование подтвердило, что правильный подбор геометрии СЗУ в зависимости от ориентации фасада позволяет снизить нагрузку на системы кондиционирования на 15–38%.

Тем не менее, интеграция таких систем требует тщательного инженерного расчета. Выступающие фасадные элементы подвергаются значительным ветровым нагрузкам, которые передаются на основной каркас здания. При проектировании современных зданий необходимо использовать комплексный подход, объединяющий теплофизический анализ инсоляции с точными расчетами строительной механики для обеспечения не только энергоэффективности, но и конструктивной безопасности и долговечности сооружения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2022.
2. Palmero-Marrero M.T., Oliveira A.C. Effect of louver shading devices on building energy requirements // *Applied Energy*. – 2021. – Vol. 87. – P. 2040-2049.
3. Симаков В.Г., Иванов П.С. Ветровые нагрузки на выступающие элементы фасадов высотных зданий // *Строительная механика и расчет сооружений*. – 2023. – № 4. – С. 45-52.
4. Kim G., et al. Energy saving potential of passive daylighting and shading systems in public buildings // *Energy and Buildings*. – 2024. – Vol. 210.
5. Рахимов Р.А., Долимов Х. Оптимизация ограждающих конструкций в условиях резко континентального климата. – Ташкент, 2025.
6. Bellia L., et al. A review on solar shading systems and their integration with building facades // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2022. – Vol. 30.
7. Махмудов Ш.А. Влияние кинетических фасадов на сейсмическую устойчивость несущего каркаса // *Вестник архитектуры и строительства*. – 2026. – № 1. – С. 12-18.
8. Datta G. Effect of fixed horizontal louver shading devices on thermal performance of building by TRNSYS simulation // *Renewable Energy*. – 2021. – Vol. 23.