

В статье исследован конфликт между советскими нормами инсоляции и принципами компактного города в Астане. Методами параметрического моделирования (EnergyPlus, CFD, Ladybug) сопоставлены советский микрорайон и периметральный квартал. Установлено, что инсоляционная морфология увеличивает спрос на отопление на 24% и снижает эффективность использования земли на 44%, ухудшая ветровой режим. Обоснован переход от жестких часов инсоляции к эксплуатационным метрикам дневного света (sDA, EN 17037) для создания энергоэффективной и плотной застройки в холодном климате.

Ключевые слова: советское градостроительство; нормы инсоляции; компактный город; городская морфология; энергоэффективность; микроклиматический комфорт. /

The article considers a conflict between Soviet-era insolation norms and compact city goals of Astana. This study compares two block typologies – a Soviet microdistrict and a Western perimeter block – through parametric simulation (EnergyPlus, CFD, Ladybug). Results show that insolation-driven morphology produces 24% higher heating demand, 44% lower land-use efficiency, and poor wind comfort. The paper argues for replacing prescriptive insolation requirements with performance-based metrics (sDA, EN 17037) to enable energy-efficient and high-density development in cold climates.

Keywords: Soviet urban planning; insolation standards; compact city; urban morphology; energy efficiency; microclimatic comfort.

Инсоляционный парадокс в градостроительстве Астаны / The insolation paradox in Astana city development

текст

Арслан Баракбаев

Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина (Астана, Казахстан)

Елена Феоктистова

Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева (Усть-Каменогорск, Казахстан)

Нина Криулько

Восточно-Казахстанский технический университет имени Д. Серикбаева (Усть-Каменогорск, Казахстан)

Айнур Мулдагалиева

Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина (Астана, Казахстан)

text

Arslan Barakbayev

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University (Astana, Kazakhstan)

Yelena Feoktistova

D. Serikbaev East Kazakhstan Technical University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

Nina Krivulko

D. Serikbaev East Kazakhstan Technical University (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

Ainur Muldagaliyeva

S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University (Astana, Kazakhstan)

1. Введение

1.1. Международный опыт: от геометрии к энергоэффективности и комфорту

Современные исследования в области градостроительства рассматривают городскую морфологию как один из ключевых инструментов адаптации к изменению климата. Международная практика свидетельствует о существенной смене проектной парадигмы: жесткие предписывающие стандарты, задающие геометрические ограничения, постепенно уступают место проектированию, основанному на оценке эксплуатационных характеристик, прежде всего энергоэффективности и микроклиматического комфорта. Эмпирические исследования подтверждают, что модель компактного города (Compact City) относится к числу наиболее эффективных стратегий снижения углеродного следа городов. Gerten [9, с. 1] подчеркивает, что предотвращение экстенсивного разрастания городов и повышение эффективности землепользования являются критическими условиями устойчивого развития постсоциалистических городов.

Вместе с тем достижение высокой плотности застройки требует тщательного баланса между формой застройки и качеством окружающей среды. Установлена прямая взаимосвязь между морфологией квартала и энергопотреблением зданий: компактные формы застройки, включая периметральные кварталы, способны снижать теплотери благодаря более благоприятному коэффициенту формы и эффекту взаимного экранирования [14; с. 1]. Параллельно меняется подход к оценке световой среды. Современные исследования обосновывают переход от требований, основанных на прямой инсоляции, то есть количестве часов прямого солнечного освещения внутренних помещений, к климатически зависимым метрикам автономности дневного света и контроля перегрева. Такой подход позволяет поддерживать визуальный комфорт без ущерба для плотности застройки [10, с. 1].

Одновременно ветровой комфорт приобретает критическое значение, поскольку конфигурация застройки определяет качество пешеходной среды. Одни планировочные решения формируют защищенные пространства, особенно важные в условиях холодного климата, тогда

как открытые планировки могут усиливать дискомфортные ветровые потоки и формировать продуваемые коридоры [14, с. 41]. В совокупности эти направления исследований позволяют рассматривать городскую ткань как сложную систему, в которой плотность, энергоэффективность и комфорт должны оптимизироваться одновременно.

1.2. Исторические корни: «борьба за свет» и гигиеническая парадигма

На фоне глобального тренда к уплотнению застройки и повышению энергоэффективности нормативно-правовая база стран бывшего Советского Союза, включая Казахстан, по-прежнему сохраняет приверженность принципам, сформулированным в период раннего модернизма. В то время основной угрозой городскому населению были не климатические изменения, а эпидемические заболевания, распространявшиеся в условиях скученности и антисанитарии.

Ведущий теоретик советского градостроительства Н. А. Милютин в программной работе «Соцгород» (1930) подчеркивал необходимость обеспечения прямого солнечного доступа в жилище, связывая его с санитарно-гигиеническим качеством городской среды [1, с. 12]. Эта гигиеническая парадигма была закреплена в СН 41-58 «Правила и нормы планировки и застройки городов», где было установлено жесткое требование о трех часах непрерывной прямой инсоляции в период равноденствия [4]. Важно признать, что такие нормы были сформулированы как ответ на кризисы общественного здравоохранения своего времени, включая риски распространения инфекционных заболеваний, и в историческом контексте являлись рациональной реакцией на актуальные санитарные угрозы.

В позднесоветский период та же логика была подтверждена в СанПиН 2605-82 «Санитарные нормы и правила обеспечения инсоляцией жилых и общественных зданий и территорий жилой застройки» [3], где нормы инсоляции обосновывались их бактерицидным эффектом, а минимальная продолжительность инсоляции для центральной географической зоны была установлена в 2,5 часа [3]. Как отмечает ряд авторов, эти принципы способствовали массовому распространению микрорай-



онов как пространственных единиц, характеризующихся значительными, функционально неопределенными открытыми пространствами между свободно стоящими зданиями [8, с. 663].

Эта тенденция получила дальнейшее закрепление в СНиП 2.07.01-89 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений», где инсоляция сохранялась как один из ключевых проектных факторов благодаря требованиям к расстоянию между зданиями и их ориентации [5]. Несмотря на расширение круга вопросов градостроительного регулирования, базовая гигиеническая логика защиты прямого солнечного доступа в жилище осталась неизменной, что закрепило дисперсную, основанную на микрорайонах ткань застройки в ущерб более компактным морфологиям, ориентированным на улицу.

1.3. Эффект нормативной инерции

Парадокс текущей ситуации состоит в том, что, несмотря на радикальные социально-экономические изменения и сдвиг приоритетных рисков от бактериальных угроз к климатическим, пространственная структура городов во многом сохранила прежнюю нормативную логику. Действующие в Казахстане нормы, в частности, СП РК 3.01-101-2013 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских населенных пунктов» по-прежнему предписывают определять расстояния между зданиями на основании расчетов инсоляции [6]. Кроме того, действующие санитарные правила сохраняют требование не менее 2,0–2,5 часов прямого солнечного света и воспроизводят советский метод расчета прерывистой инсоляции [2].

Это создает эффект нормативной инерции, или lock-in, то есть ситуацию, при которой устаревшие правила продолжают воспроизводить неэффективные пространственные модели вопреки изменившимся условиям. В результате современные архитекторы фактически вынуждены следовать морфологии прошлого века. Жесткое требование прямой инсоляции выступает геометрическим барьером, раздвигающим здания, затрудняющим формирование компактных кварталов и закрепляющим низкую эффективность землепользования, которую

Gerten и соавторы [9, с. 1] определяют как системную слабость постсоциалистического городского развития.

1.4. Цель и задачи исследования

В настоящей статье исследуется конфликт между исторически сложившейся санитарной парадигмой и современными требованиями климатической устойчивости. Задача заключается в переосмыслении проблемы инсоляции: норма, изначально созданная для охраны здоровья в условиях санитарных рисков первой половины XX века, в XXI веке может порождать новые экологические и энергетические издержки. Исследование направлено на количественное обоснование тезиса о том, что жесткие санитарные требования прямой инсоляции функционируют как первичный морфогенетический барьер, то есть нормативный фактор, заранее задающий пространственную форму застройки и препятствующий формированию энергоэффективной городской среды в Астане в условиях ее резко континентального климата.

Для достижения этой цели в работе сначала идентифицируется конкретный регуляторный механизм действия нормы: показывается, как императив обеспечения 2,5 часов прямого солнечного доступа в сочетании с ограничениями на ориентацию жилых помещений на север порождает дисперсную морфологию застройки. На основе этого анализа исследование количественно оценивает «цену инсоляции» посредством сравнительных компьютерных симуляций, включая CFD-моделирование и энергомоделирование, сопоставляющих сценарии «советского микрорайона» и «компактного периметрального квартала» по показателям плотности, теплопотерь и ветрового комфорта.

2. Обзор литературы

2.1. Компактный город и эффективность землепользования

Модель компактного города в настоящее время рассматривается как центральный элемент стратегий устойчивого городского развития. Многочисленные исследования показывают, что высокая плотность застройки в сочетании со смешанным использованием территорий и развитой системой общественного транспорта способствует

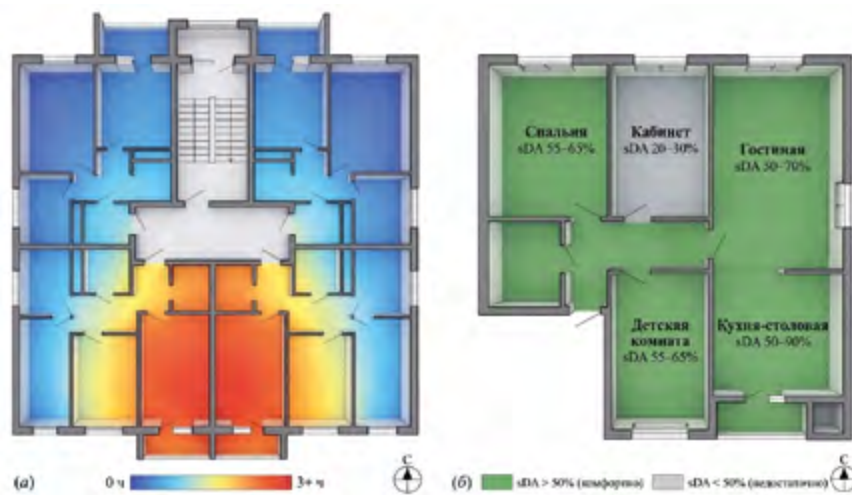


Рис. 1. Концептуальное сравнение принципов оценки внутреннего освещения: метрика продолжительности прямой инсоляции (Сценарий А, советская модель) и метрика автономности дневного света (sDA; Сценарий Б, западная модель): слева: тепловая карта часов инсоляции на день весеннего равноденствия 22 марта, демонстрирующая асимметричное освещение помещений в условиях запрета северной ориентации жилых комнат (СП РК 3.01-101-2013); справа: равномерное распределение sDA (50–70%) по всем помещениям углового сегмента периметрального квартала, не зависящее от солнечной ориентации, согласно LEED v4.1 и EN 17037

снижению энергопотребления и выбросов парниковых газов. Gerten и соавторы [9, с. 1] отмечают, что экстенсивная городская экспансия (urban sprawl) в постсоциалистических странах приводит к низкой эффективности землепользования (LUE) и высокой зависимости от частного автотранспорта. Вместе с тем в постсоциалистическом контексте задачей является не механическое уплотнение, а формирование высококачественной городской среды, что требует сбалансированного подхода к пространственному планированию.

2.2. От инсоляции к метрикам дневного света

В современной архитектурной практике и светотехническом проектировании отчетливо прослеживается переход от жестких требований прямой инсоляции к использованию климатически зависимых метрик дневного света. Исследования (Нои и соавторы [10, с. 1]), демонстрируют эффективность показателей пространственной автономности дневного света (Spatial Daylight Autonomy, sDA) и годовой солнечной экспозиции (Annual Sunlight Exposure, ASE). Метрика sDA интегрирована в международные стандарты «зеленого» строительства, включая LEED, тогда как европейский стандарт EN 17037 закрепляет систему оценки дневного света в зданиях на основе уровней освещенности, продолжительности дневного освещения и качества визуальной среды [7, с. 1; 13, с. 1]. В рамках этих подходов дневной свет рассматривается как ресурс визуального комфорта и снижения энергопотребления, а не только как средство санитарной дезинфекции.

2.3. Микроклимат и форма застройки

Форма городской застройки оказывает существенное влияние на микроклиматические условия и энергетические показатели зданий. Исследования, основанные на CFD-моделировании, показывают, что конфигурация застройки определяет ветровой режим и тепловой комфорт пешеходов. Prasitreak и Srivanit [11, с. 41] показывают, что замкнутые или полужамкнутые кварталы формируют защищенные зоны, особенно важные в холодных климатических условиях. Кроме того, компактные формы застройки с низким коэффициентом формы снижают теплопотери, что показано в работах Wu, Liu [14, с. 1].

2.4. Постсоциалистический урбанизм и наследие микрорайона

Микрорайон как базовая планировочная единица советского города изначально был задуман как рациональная, социально ориентированная форма расселения. Тем не менее в условиях постсоциалистической трансформации он стал одним из основных источников пространственной неэффективности. Engel [8, с. 663] показывает, что микрорайон встроен в иерархию «соцгорода» как типичная морфология крупных кварталов со свободно стоящими зданиями и значительными разрывами между ними, предназначенными для обеспечения инсоляции, санитарных промежутков и нормативной доли озеленения, в сочетании со строгой функциональной сегрегацией и выводом транзитного движения на периферийные магистрали. В результате значительные территории заняты пространствами, слабо артикулированными как улицы или площади и недостаточно интегрированными в повседневную городскую жизнь.

Эта планировочная логика во многом объясняет низкую эффективность землепользования и тенденцию к экстенсивному росту в постсоциалистических городах, на что указывают Gerten и соавторы [9, с. 1], связывающие низкие значения LUE с наследием индустриального массового жилищного строительства и крупных жилых массивов. Значительная часть городской территории в крупных городах «зафиксирована» в конфигурации панельных жилых массивов с очень низким уровнем активного фронта застройки и переразмеренными дворами, которые функционируют не как качественные общественные пространства, а как слабо используемые транзитные пространства или участки неформальной парковки.

Szczerek [12, с. 1], рассматривая потенциал уплотнения и ревитализации крупнопанельных жилых массивов, подчеркивает, что изначально проектируемые резервные пространства между зданиями в настоящее время нередко заняты неформальной парковкой и фрагментированными газонами и не обеспечивают ни качественной рекреации, ни связной уличной сети и потому требуют комплексной реконфигурации.

3. Методология

3.1. Дизайн исследования

Чтобы исключить влияние локальных особенностей участка (рельефа и существующей застройки) и получить обобщаемые результаты, был применен модельный подход на основе теоретической эталонной модели.

Объектом анализа выступает абстрактный фрагмент городской ткани площадью 1 гектар (100 x 100 м). Такой стандартизованный размер участка не отождествляется с микрорайоном как полноценной планировочной единицей, а используется как сопоставимая модельная основа для оценки альтернативных морфологических схем в одинаковых территориальных границах. Модель предполагает девятиэтажные здания, отражающие распространенную типологию массового жилья в Казахстане и обеспечивающие контекстуальную релевантность расцетов.

Климатический контекст. Модель размещена в климатических условиях Астаны (51°10' с. ш.). Использован стандартный климатический файл EnergyPlus Weather (EPW), характеризующийся экстремальными перепадами температур (от -40°C до +35°C) и высокими ветровыми нагрузками. Это делает Астану репрезентативным примером для анализа энергетических показателей городской формы в резко континентальном климате.

Участок ориентирован строго по сторонам света (север-юг). Окружающая застройка в модель не включалась с целью изоляции эффектов инсоляции и ветрового потока.

3.2. Определение и визуализация сценариев

Были разработаны две альтернативные морфологические модели квартала, соответствующие двум полярным регуляторным подходам к формированию городской среды.

Сценарий А (советская модель, определяемая инсоляцией)

Решение в Сценарии А соответствует действующей нормативной базе СП РК 3.01-101-2013 Казахстана.

Регуляторное ограничение. Планировка квартала должна обеспечивать не менее 2,5 часов непрерывной прямой инсоляции в день весеннего равноденствия.

Морфология. Застройка состоит из свободно стоящих секционных или башенных объемов высотой 9 этажей. Здания размещены с широкими разрывами, функционирующими как «инсоляционные коридоры», и ориентированы с учетом требований солнечной экспозиции, а не вдоль уличной сети.

Сценарий Б (компактная периметральная модель, определяемая энергоэффективностью)

Решение в Сценарии Б основано на принципах международных стандартов LEED v4.1 и EN 17037, ориентированных на оценку фактических параметров дневного света и качества визуальной среды.

Регуляторное ограничение. Требование прямой инсоляции заменяется климатически зависимыми метриками дневного света, в частности, пространственной автономностью дневного света (sDA), а также критериями визуального и микроклиматического комфорта. Приоритет отдается компактности, энергоэффективности и ветрозащите.

Морфология. Застройка представляет собой периметральный квартал равной высоты, охватывающий внутренний двор и формирующий непрерывный уличный фронт по всему периметру.

Для оценки продолжительности инсоляции применялся пакет Ladybug Tools (версия 1.6.0) совместно с Radiance. Расчеты выполнялись с 22 марта (весеннее равноденствие) с часовым шагом с 9:00 до 18:00. В Сценарии А (советская модель) 95% жилых ячеек удовлетворяли требованию 2,5 часов непрерывной прямой инсоляции. В Сценарии Б (компактная периметральная модель) этот показатель составил 58%. Однако в Сценарии Б уровень пространственной автономности дневного света (sDA) превышает 50%, что соответствует критериям LEED v4.1 и сопоставимо с логикой оценки дневного света, закрепленной в EN 17037. Метрика sDA рассчитывалась с порогом 300 люкс не менее чем на 50% годовых занятых часов.

3.3. Инструменты моделирования и расчетные процедуры

Моделирование выполнялось в параметрической среде Rhino 7 и Grasshopper. Оценка показателей основывалась на следующих математических моделях:

(а) Эффективность землепользования (плотность застройки)

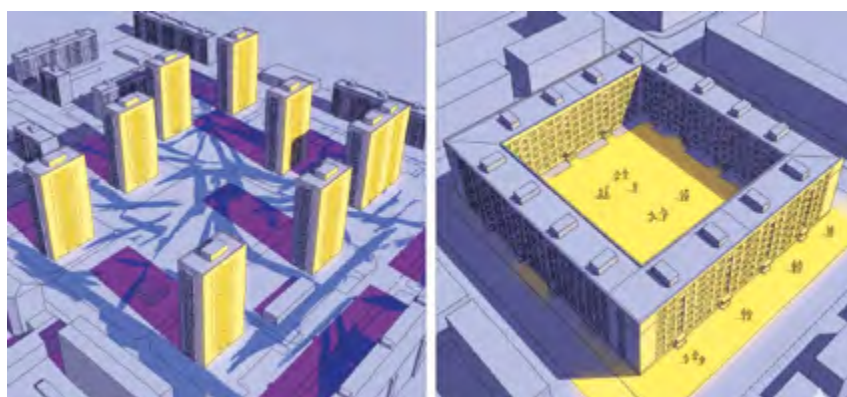
Плотность застройки рассчитывалась по коэффициенту плотности застройки (Floor Area Ratio, FAR / КПЗ) согласно следующему выражению:

$$FAR = (\sum A_{\text{floor}}) / A_{\text{site}}$$

где A_{floor} представляет собой суммарную поэтажную площадь всех зданий (м^2), а A_{site} обозначает площадь участка ($10\,000\text{ м}^2$). Этот показатель используется для проверки тезиса Gerten и соавторов [9, с. 1] о низкой эффективности землепользования в постсоциалистических городах.

(б) Геометрическая эффективность (коэффициент формы)

Влияние формы здания на теплопотери оценивалось с помощью коэффициента формы f_{shape} в соответствии с методикой, предложенной Wu и Liu [14, с.1]:



$$f(\text{shape}) = (A_{\text{envelope}}) / (V_{\text{building}})$$

где A_{envelope} обозначает площадь наружной оболочки здания (стен и крыши), контактирующей с наружным воздухом, а V_{building} представляет собой объем здания. Более высокие значения коэффициента формы соответствуют более низкой энергоэффективности геометрии здания.

(в) Энергомоделирование

Удельный спрос на отопление Q_{heating} рассчитывался с использованием расчетного ядра EnergyPlus через плагин Honeybee. Уравнение теплового баланса учитывает трансмиссионные потери L_{trans} , потери на вентиляцию и инфильтрацию L_{vent} , а также солнечные поступления G_{solar} и внутренние тепловыделения G_{int} :

$$Q(\text{heating}) = (\int (L(\text{trans}) + L(\text{vent}) - G(\text{solar}) - G(\text{int})) dt) / (A(\text{floor}))$$

Теплотехнические свойства ограждающих конструкций были приняты идентичными для обоих сценариев: коэффициент теплопередачи наружных стен $U = 0,25\text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$, коэффициент теплопередачи окон $U = 1,1\text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$. Это позволило исключить влияние строительных материалов и изолировать морфологический эффект.

CFD-моделирование ветровых потоков выполнялось в OpenFOAM с использованием модели турбулентности $k-\epsilon$. Граничные климатические параметры задавались на основе стандартного климатического файла EPW для Астаны: средняя скорость ветра $4,8\text{ м/с}$ на высоте 10 м и преобладающее юго-западное направление. Ветровой комфорт оценивался на высоте $1,5\text{ м}$ над уровнем земли, соответствующей пешеходной зоне. Минимальный размер ячейки в расчетной сетке составлял $0,5\text{ м}$. Для повышения достоверности результатов выполнялась проверка сеточной сходимости путем измельчения сетки.

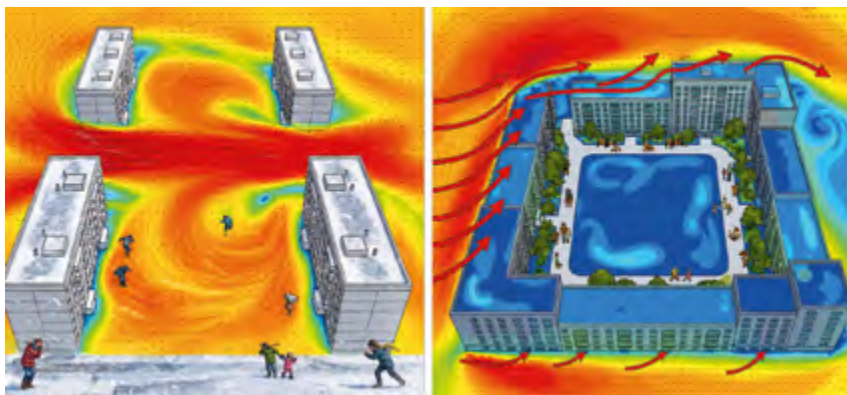
Энергомоделирование выполнялось в EnergyPlus v9.6 через плагин Honeybee. Период моделирования охватывал весь отопительный сезон с 15 октября по 15 апреля. Кратность воздухообмена при инфильтрации принималась равной $0,5\text{ ч}^{-1}$ (ACH). Внутренние тепловыделения задавались по типовым значениям: 3 Вт/м^2 от приборов и людей и 7 Вт/м^2 от искусственного освещения.

3.4. Ограничения исследования

Исследование сосредоточено исключительно на пассивных факторах энергосбережения: городской форме, ориентации и инсоляции. В нем не учитываются эффективность инженерных систем (HVAC), поведение жителей и режимы эксплуатации, которые могут влиять на фактическое энергопотребление. Эффекты инженерного оборудования, например, КПД источников тепла и поведенческие факторы поддерживались постоянными в обоих моделях.

Для проверки устойчивости результатов был выполнен анализ чувствительности. В дополнительных расчетных вариантах варьировались следующие параметры: высота зданий (± 1 этаж), ориентация фасадов ($\pm 10^\circ$) и плот-

Рис. 2. Геометрические модели исследования (постановка моделирования): (а) слева: Сценарий А (советская модель). Характеризуется дисперсным размещением зданий для обеспечения 2,5 часов прямой инсоляции; (б) справа: Сценарий Б (западная модель). Демонстрирует компактный периметральный квартал, сформированный на основе метрик дневного света (sDA)



^ Рис. 3. Сравнительное моделирование «цены инсоляции» в климате Астаны (CFD-симуляция и тепловая карта):
(а) слева: советская модель (определяется инсоляцией). Дисперсная застройка, продиктованная требованием 2,5 часов прямого солнечного света. Тепловая карта (красные тона) показывает экстремальные теплотери через наружные стены и инфильтрацию холодного воздуха через разрывы между зданиями;
(б) справа: западная модель (определяется энергоэффективностью). Компактный квартал, спроектированный согласно стандартам энергоэффективности. Синие тона во внутреннем дворе свидетельствуют о формировании защищенного микроклимата и снижении теплотерь за счет взаимного экранирования и оптимизации формы зданий

ность застройки ($\pm 10\%$). Анализ показал, что относительное преимущество компактной модели по энергетическим показателям и ветровому комфорту сохраняется во всех вариантах, что подтверждает устойчивость выводов исследования.

Для частичной валидации энергомодели расчетный спрос на отопление по Сценарию А ($180 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2/\text{год}$) был сопоставлен с фактическими данными о потреблении в сопоставимых девятиэтажных панельных домах в климатической зоне Казахстана. По официальным данным такие показатели обычно составляют $160\text{--}200 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2/\text{год}$ (Министерство энергетики РК, 2020). Расчетное значение попадает в указанный эмпирический диапазон, что подтверждает правдоподобность результатов модели.

4. Результаты

4.1. Сравнительный анализ морфологии и энергетических показателей

Результаты моделирования, представленные на рис. 3, визуализируют принципиальный конфликт между нормативными требованиями и физической эффективностью городской среды.

Визуализация Сценария А (слева) демонстрирует морфологию, сформированную императивом прямой инсоляции (2,5 часа в соответствии с санитарными правилами). Необходимость поддерживать инсоляционные разрывы между зданиями приводит к дисперсной структуре, состоящей из свободно стоящих башенных объемов. На тепловой карте эти здания показаны красным и оранжевым цветами, что свидетельствует о высоких теплотерях. Высокий коэффициент формы ($\text{Shape Factor} \approx 0,45$) и отсутствие взаимного экранирования повышают подверженность каждого здания внешнему теплообмену и ветровому воздействию. При этом коэффициент плотности застройки (FAR) остается низким – 1,8, поскольку значительная часть участка отводится под пространственные разрывы, обеспечивающие прохождение солнечных лучей.

Напротив, Сценарий Б (справа) представляет модель компактного города, спроектированную с использованием эксплуатационных метрик дневного света и микроклиматической эффективности. Формирование замкнутого периметрального квартала позволяет повысить плотность застройки до $\text{FAR} = 2,6$ (+44%). На тепловой карте пре-

обладают синие и зеленые тона, особенно во внутреннем дворе, что свидетельствует о формировании более термически стабильной зоны. Непрерывный фасадный фронт работает как ветрозащитная преграда, снижая скорость ветра и инфильтрацию холодного воздуха. В сочетании с улучшенным коэффициентом формы (0,32) это снижает расчетный спрос на отопление на 24%, до $145 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год.

4.2. Сводный анализ результатов

Сравнительная оценка ключевых показателей, представленная в таблице 1, позволяет количественно охарактеризовать системный эффект изменения регуляторной парадигмы.

Во-первых, анализ выявил существенный резерв повышения эффективности землепользования. Переход к компактной модели (Сценарий Б) увеличивает коэффициент плотности застройки (FAR) с 1,8 до 2,6. Это означает, что сохранение советского норматива инсоляции снижает потенциал полезного использования территории примерно на 30%, исключая часть участка из эффективного жилищного использования. На уровне города это усиливает экстенсивное пространственное расширение (sprawl) и повышает инфраструктурные издержки.

Во-вторых, установлена прямая взаимосвязь между геометрией инсоляционных разрывов и энергопотреблением. Высокий коэффициент формы в Сценарии А (0,45) свидетельствует о неэффективной форме здания с избыточной площадью фасадов, через которые происходят теплотери. Оптимизация формы в Сценарии Б (0,32) в сочетании с ветрозащитой снижает удельный спрос на отопление на 24% со 180 до $145 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в год. Это показывает, что в климатических условиях Астаны архитектурная форма является более значимым драйвером энергосбережения, чем пассивные солнечные поступления.

В-третьих, результаты CFD-моделирования свидетельствуют о качественном улучшении средового комфорта. Снижение скорости ветра во дворе с дискомфортных 4–6 м/сек. в Сценарии А до комфортных 0–1 м/сек. в Сценарии Б преобразует двор из транзитного пространства в полноценное общественное пространство, пригодное для использования в зимний период.

Таблица 1. Сводные показатели сравнительного моделирования

Параметр (метрика)	Сценарий А (советская модель)	Сценарий Б (компактная периметральная модель)	Различие (регуляторный эффект)
Плотность (FAR)	1,8	2,6	+44% полезной площади в Сценарии Б
Компактность (коэффициент формы)	0,45 (высокие потери)	0,32 (эффективная форма)	Форма здания на 29% эффективнее
Спрос на отопление	180 $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2/\text{год}$	145 $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2/\text{год}$	Энергопотребление снижено на 24%
Ветровой режим (зима)	4–6 м/сек. (дискомфорт, сквозняки)	0–1 м/сек. (защищено, комфортно)	Двор пригоден как открытое пространство

5. Обсуждение

5.1. «Инсоляционный парадокс»: конфликт между здоровьем и энергоэффективностью

Результаты настоящего исследования количественно подтверждают гипотезу об «инсоляционном парадоксе» в постсоветском градостроительстве. Нормативное требование прямой инсоляции (2,5 часа), сформированное в рамках санитарно-гигиенической парадигмы середины XX века, в XXI веке может становиться фактором экологических и энергетических издержек.

Моделирование показывает, что приоритизация геометрического солнечного доступа (Сценарий А) увеличивает энергопотребление на 24% по сравнению с компактной моделью (Сценарий Б) в рамках принятой расчетной конфигурации. Этот вывод согласуется с заключениями Wu и Liu [14, с. 1], что коэффициент формы здания является одним из доминирующих факторов энергоэффективности в холодных климатических условиях. Хотя свободно стоящие здания советского типа получают больше солнечных поступлений, избыточная площадь их наружных стен и подверженность ветру в значительной мере нейтрализуют это преимущество. Иными словами, стремление к обеспечению «солнечного здоровья» может парадоксальным образом приводить к углеродоемкой городской среде, противоречащей целям устойчивого развития. Авторы не оспаривают доступ к дневному свету как ценности для здоровья, но подвергают критике предписывающий геометрический метод его обеспечения, который в холодных климатах способен порождать энергетические издержки, превышающие его преимущества.

5.2. Регуляторный детерминизм и механизм экстенсивного роста города

Исследование раскрывает механизм, лежащий в основе низкой эффективности землепользования в постсоциалистических городах, на который указывают Gerten и соавторы [9, с. 1]. Оно показывает, что дисперсная структура застройки и низкая плотность (FAR 1,8 при потенциале 2,6) являются не только следствием рыночного хаоса или планировочных ошибок, но и результатом регуляторного детерминизма.

Жесткие инсоляционные разрывы и запрет на ориентацию жилых помещений на север выступают морфогенетическими барьерами, физически препятствующими уплотнению городской ткани. Это создает эффект lock-in. Даже при наличии политической воли реализовывать повестку компактного города действующие санитарные правила вынуждают проектировщиков воспроизводить морфологию микрорайона середины XX века. Это подтверждает наблюдения Engel [8, с. 663] о структурной инерции советского градостроительства и дополняет их количественной оценкой территориальных потерь, которые в рамках принятой модели составляют около 30% полезного потенциала участка.

5.3. Переосмысление комфорта: от инсоляции к микроклимату

Сопоставление ветровых режимов, полученных в результате CFD-анализа, ставит под сомнение саму концепцию «комфорта», заложенную в советские нормативы. Санитарные нормы сосредоточены на дезинфекции внутренних помещений прямым солнечным светом и в меньшей степени учитывают качество внешней среды. Однако в условиях резко континентального климата Астаны критическим фактором здоровья и повседневного благополучия является не только формальное достижение прямой солнечной экспозиции внутри жилого помещения, но и возможность находиться на открытом воздухе в течение большей части года.

Полученные данные показывают, что инсоляционные разрывы между зданиями создают эффект «ветрового тоннеля», делающего дворовые пространства непригодными для зимнего использования при скорости ветра 4–6 м/сек. Напротив, компактная периметральная модель (Сценарий Б), в соответствии с рекомендациями Prasitreak и Srivani [11, с. 41], формирует защищенные зоны с низкой скоростью ветра. Это позволяет сместить фокус с санитарно-гигиенической модели минимального благополучия, ориентированной на борьбу с бактериальными рисками, к модели социального благополучия, основанной на активной жизни во дворе и круглогодичном

использовании открытых пространств. Такая трактовка значительно ближе к современному пониманию здорового города.

5.4. Необходимость смены парадигмы: от предписаний к показателям эффективности

Полученные выводы поддерживают переход от предписывающего регулирования, основанного на продолжительности инсоляции, к нормированию на основе показателей эффективности: автономности дневного света, энергоэффективности и микроклиматического комфорта. Как показано в работе Ноу и соавторов [10, с. 1], современные метрики позволяют обеспечивать высокий уровень визуального комфорта без жестких геометрических ограничений.

Замена предписывающего требования продолжительности инсоляции современными критериями оценки дневного света не снижает качество световой среды в жилищах. Она заменяет косвенный геометрический показатель прямой оценкой фактической доступности дневного света, обеспечивая эквивалентные или лучшие условия освещения при меньших пространственных ограничениях.

Следует отметить, что периметральная застройка не лишена ограничений. В высотных конфигурациях замкнутые дворы могут порождать недостаточную вентиляцию и снижение поступления дневного света на нижние этажи, то есть так называемый эффект «двора-колодца». Регуляторная база, основанная на показателях эффективности, как предлагается в настоящей работе, должна учитывать это, устанавливая минимальные пороговые значения sDA и ветрового комфорта не только для интерьеров зданий, но и для дворовых пространств. Это дополнительно подкрепляет аргумент в пользу интегрированных эксплуатационных метрик в противовес однопараметрическим предписывающим правилам.

Хотя компактные периметральные кварталы обеспечивают измеримые экологические преимущества, их внедрение в постсоветском контексте может столкнуться с культурным сопротивлением. Жители часто ассоциируют просторные открытые дворы и высокую солнечную экспозицию с благополучием и приватностью. В связи с этим будущая планировочная практика должна включать общественное обсуждение и переходные типологии, способные согласовать традиционные ожидания жителей с целями устойчивых эксплуатационных характеристик.

6. Заключение

В настоящем исследовании рассмотрен конфликт между исторически сложившейся санитарной нормативной базой и современными требованиями к устойчивому, энергоэффективному городскому развитию в условиях резко континентального климата. Посредством сравнительного моделирования двух альтернативных городских морфологий – советской модели, определяемой инсоляцией, и компактной периметральной модели работа количественно подтвердила существование «инсоляционного парадокса».

Результаты демонстрируют, что сохраняющееся на протяжении десятилетий требование обеспечения нормативной продолжительности прямой инсоляции, присутствующее в градостроительных и санитарных нормах Казахстана, порождает дисперсную, энергонезэффективную городскую форму, характеризующуюся повышенными теплопотерями и неблагоприятными микроклиматическими условиями. Напротив, модель компактного квартала, основанная на современных эксплуатационных метриках дневного света, таких как пространственная автономность дневного света (sDA), обеспечивает существование более высокой плотности городской ткани, рост FAR на 44%, снижение спроса на отопление на 24% и формирование защищенных от ветра обще-

ственных пространств, пригодных для круглогодичного использования.

В совокупности эти выводы указывают на необходимость фундаментальной смены регуляторной парадигмы: перехода от жестких предписывающих требований инсоляции к гибким подходам, ориентированным на эксплуатационные показатели и обеспечивающим сбалансированную оптимизацию плотности, среднего комфорта и энергоэффективности. Практическим направлением такой трансформации является постепенное замещение традиционных норм инсоляции стандартами, основанными на показателях автономности дневного света, ветрового и теплового комфорта, откалиброванными под локальные климатические условия. Дальнейшие исследования могли бы расширить эту рамку посредством сравнительного анализа норм инсоляции и вентиляции в иных национальных контекстах, включая Францию, Германию, Болгарию, Румынию и Норвегию. В этих странах аналогичные геометрические паттерны дисперсного массового жилища возникали под влиянием схожих модернистских планировочных доктрин с целью установления межнациональной доказательной базы гипотезы регуляторного детерминизма.

Основное ограничение настоящего исследования связано с опорой на абстрактную теоретическую модель, не учитывающую поведенческие, социальные и эксплуатационные факторы, влияющие на энергопотребление и пространственные характеристики. Будущие исследования могут расширить эту рамку, включив в анализ несколько климатических зон, более широкий диапазон высот зданий и типологий застройки, а также эмпирические данные о фактическом энергопотреблении и восприятии жителями качества городской среды.

Литература

1. Милютин, Н. А. Соцгород: Проблема строительства социалистических городов. – Москва : Государственное издательство, 1930. – 124 с.
 2. Санитарные правила «Санитарно-эпидемиологические требования к административным и жилым зданиям»: Приказ Министерства здравоохранения Республики Казахстан от 16 июня 2021 года № КР ДСМ-50. – Астана, 2021.
 3. СанПиН 2605-82. Санитарные нормы и правила обеспечения инсоляцией жилых и общественных зданий и территорий жилой застройки. – Москва : Минздрав СССР, 1982.
 4. СН 41-58. Правила и нормы планировки и застройки городов. – Москва : Госстройиздат, 1958.
 5. СНиП 2.07.01-89. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. – Москва : ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 56 с. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294854/4294854799.pdf> (дата обращения: 09.06.2026).
 6. СП РК 3.01-101-2013. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских населенных пунктов. – Астана : Министерство регионального развития Республики Казахстан, 2013. – 135 с.
 7. CEN (European Committee for Standardization). EN 17037:2018 Daylight in buildings. Brussels: CEN, 2018.
 8. Engel B. The Concept of the Socialist City: Plans and Patterns of Soviet Urbanism. *International Planning History Society Proceedings*, 2022, 19(1), 663–678.
 9. Gerten C., Boyko D., Fina S. Patterns of Post-socialist Urban Development in Russia and Germany. *Frontiers in Sustainable Cities*, 2022, 4, 846956.
 10. Hou W., Liu L., Xi H., Jia T. Research on Dynamic Monitoring and Optimization of Lighting Environment in Clothing Workshop Based on Visual Comfort. *Buildings*, 2024, 14 (3), 750.
 11. Prasitreak D., Srivanit M. The Effects of High-Rise Building on Urban Thermal Environments and Outdoor Thermal Comfort: A Case Study of Suburban Residential Development nearby the Rangsit Campus of Thammasat University. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies*, 2021, 19 (1), 41–64.
 12. Szczerek E. The problem of densification of large-panel housing estates. *Land*, 2021, 10 (12), 1359.
 13. USGBC (U.S. Green Building Council). LEED v4.1 Building Design and Construction. Washington, DC: USGBC, 2019.
 14. Wu P., Liu Y. Impact of Urban Form at the Block Scale on Renewable Energy Application and Building Energy Efficiency. *Sustainability*, 2023, 15 (14), 11062.
- #### References
- CEN (European Committee for Standardization). (2018). EN 17037:2018 Daylight in buildings. Brussels: CEN.
 - Engel, B. (2022). The Concept of the Socialist City: Plans and Patterns of Soviet Urbanism. *International Planning History Society Proceedings*, 19(1), 663–678. <https://doi.org/10.7480/iph.s.2022.1.6516>
 - Gerten, C., Boyko, D., & Fina, S. (2022). Patterns of Post-socialist Urban Development in Russia and Germany. *Frontiers in Sustainable Cities*, 4, 846956. <https://doi.org/10.3389/frsc.2022.846956>
 - Gosstroy USSR. (1958). *Stroitel'nye Normy i Pravila (SN 41-58): Pravila i normy planirovki i zastroyki gorodov [Building Norms and Rules (SN 41-58): Rules and norms for planning and development of cities]*. Moscow: Gosstroyizdat.
 - Hou, W., Liu, L., Xi, H., & Jia, T. (2024). Research on Dynamic Monitoring and Optimization of Lighting Environment in Clothing Workshop Based on Visual Comfort. *Buildings*, 14(3), 750. <https://doi.org/10.3390/buildings14030750>
 - Milyutin, N. A. (1930). *Sotsgorod: Problema stroitel'stva sotsialisticheskikh gorodov [Sotsgorod: The Problem of Building Socialist Cities]*. Moscow: State Publishing House.
 - Ministry of Health of the Republic of Kazakhstan. (2021). *Ob utverzhdenii Sanitarnykh pravil "Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k administrativnym i zhilym zdaniyam" [On approval of Sanitary Rules "Sanitary-epidemiological requirements for administrative and residential buildings"]* (Order No. KR DSM-50). Astana.
 - Ministry of Health of the USSR. (1982). *Sanitarnye normy i pravila obespecheniya insolyatsiy zhilykh i obshchestvennykh zdaniy i territoriy zhiloy zastroyki (SanPiN 2605-82) [Sanitary norms and rules for ensuring insolation of residential and public buildings (SanPiN 2605-82)]*. Moscow.
 - Ministry of Regional Development of the Republic of Kazakhstan. (2013). *Stroitel'nye pravila Respubliki Kazakhstan (SP RK 3.01-101-2013): Gradostroitel'stvo. Planirovka i zastroyka gorodskikh i sel'skikh naselennykh punktov [Construction Rules of the Republic of Kazakhstan (SP RK 3.01-101-2013): Urban Planning. Planning and development of urban and rural settlements]*. Astana.
 - Prasitreak, D., & Srivanit, M. (2021). The Effects of High-Rise Building on Urban Thermal Environments and Outdoor Thermal Comfort: A Case Study of Suburban Residential Development nearby the Rangsit Campus of Thammasat University. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies (JARS)*, 19(1), 41–64. <https://doi.org/10.56261/jars.v19i1.243476>
 - SNiP 2.07.01-89. (1989). *Gradostroitel'stvo. Planirovka i zastroyka gorodskikh i sel'skikh naselennykh punktov [Urban planning. Planning and building of urban and rural settlements]*. Moscow: TSITP Gosstroy of the USSR. Retrieved June 9, 2026, from <https://meganorm.ru/Data2/1/4294854/4294854799.pdf>
 - Szczerek, E. (2021). The problem of densification of large-panel housing estates. *Land*, 10(12), 1359. <https://doi.org/10.3390/land10121359>
 - USGBC (U.S. Green Building Council). (2019). *LEED v4.1 Building Design and Construction*. Washington, DC: USGBC.
 - Wu, P., & Liu, Y. (2023). Impact of Urban Form at the Block Scale on Renewable Energy Application and Building Energy Efficiency. *Sustainability*, 15(14), 11062. <https://doi.org/10.3390/su151411062>