ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СВЕТОВОЙ СРЕДЫ ПОДЗЕМНЫХ ПРОСТРАНСТВ

Чжан Юйчжу, *магистрант*
Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы
(Россия, г. Москва)

DOI:10.24412/2500-1000-2025-10-2-125-131

Аннотация. *Освоение подземного пространства составляет историческую необходимость урбанистического развития, а создание комфортной световой среды является ключевым аспектом проектирования общественных подземных зданий. Цель исследования заключается в систематическом исследовании методов проектирования освещения таких пространств. В работе обобщаются способы интеграции естественного света, анализируются преимущества и недостатки различных подходов, а также предлагаются концепции проектирования естественного освещения. Рассматриваются факторы использования искусственного освещения. В заключении подчеркивается важность света и цвета для формирования качественной внутренней среды. Исследование призвано служить ориентиром для оптимизации проектирования светоцветовой среды подземных пространств.*

Ключевые слова: *подземное пространство; световая среда; естественное освещение; искусственное освещение.*

Активное освоение подземных пространств является неотъемлемой чертой современного урбанистического развития. В этих условиях формирование комфортной и безопасной световой среды выступает ключевым фактором, определяющим функциональную эффективность и психологическое восприятие подземных общественных зданий. Недостаточное внимание к световому дизайну может привести к возникновению у пользователей ощущения дискомфорта и дезориентации. В связи с этим актуальность данного исследования обусловлена необходимостью систематизации подходов к проектированию освещения, интегрирующих как естественные, так и искусственные источники света.

Целью работы является комплексный анализ методов формирования световой среды, включая пассивные и активные способы интродукции естественного света, а также принципы эффективного использования искусственного освещения и цветового решения интерьеров. Особое внимание уделяется влиянию света и цвета на психофизиологическое состояние человека. Результаты исследования призваны служить методической базой для архитекторов и дизайнеров, занятых проектированием качественной визуальной среды подземных пространств.

Естественное освещение в подземных зданиях

Есть два способа реализовать естественное освещение: первый – активно направлять его с помощью технических средств, второй – пассивно принимать его, используя саму форму пространства [1]. Пассивное использование естественного света в подземном пространстве, обусловленное ограничениями освещения подземных зданий, в основном достигается путем изменения формы здания, что включает в себя намеренное создание светового порта, намеренную обработку интерфейса передачи света и так далее. Независимо от того, какой способ будет использован, это приведет к изменению формы пространства, а такие изменения окажут соответствующее влияние на функциональные требования пространства, организационную структуру и даже ландшафт поверхности и т.д., а эти факторы влияния, в свою очередь, повлияют на дизайн интерфейса естественного освещения. Естественное освещение, основанное на внешней форме здания, в настоящее время является основным средством естественного освещения в подземных коммерческих развлекательных пространствах. С точки зрения пространственной формы, этот способ естественного освещения в основном воплощается в трех формах: введение утопленного про-

странства, введение поднимающегося пространства и введение света от световых люков.

Введение утопленного пространства (рис. 1): в контексте проектирования подземных пространств одним из эффективных пассивных методов естественного освещения является использование утопленных форм. Данный подход заключается в создании углубленных зон ниже уровня земли с последующей организацией их светопропускающих поверхностей. К основным типам относятся утопленные площади, внутренние дворы (патио) и входные группы. Наиболее распространенным в коммерческой подземной архитектуре является утопленный квадрат, применяемый в крупных открытых зонах, таких как входы и центральные площади. Его организация предполагает «опускание» части поверхности, что формирует открытую пространственную композицию и обеспечивает инсоляцию. Утопленные же дворы и патио, обычно не связанные с основными входами, представляют собой компактные изолированные пространства и чаще встречаются в жилых и общественных зданиях.

К преимуществам метода относятся увеличение площади светового интерфейса, создание мягкого освещения и обогащение пространственного восприятия. Однако отмечаются и недостатки: воздействие на термическую стабильность внутренней среды, повышение энергопотребления и сокращение полезной площади. Одним из путей оптимизации является применение комбинированных (глухих и светопрозрачных) конструкций интерфейса, что позволяет усилить светотеневой эффект и минимизировать теплопотери.

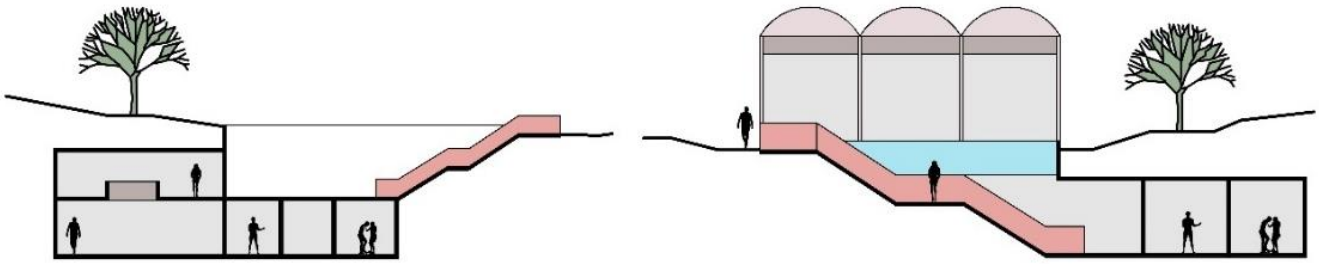

Рис. 1. Схема подземного пространства с утопленным пространством

Введение поднимающегося пространства (рис. 2): обычно существует два способа восходящего естественного освещения: во-первых, подземное здание будет выступать из земли с окнами боковой высоты, а во-вторых, метод освещения, выступающий из земли через световой колодец, чтобы увеличить количество света. Поскольку такой способ естественного освещения может дать очень равномерный световой эффект, его часто используют в больших подземных помещениях. В то же время такой способ освещения оказывает определенное влияние на форму подземного пространства, поэтому он чаще всего используется в том случае, если земля представляет собой открытый квадрат. Если нет топографии высоты ступенчатой, то при таком способе освещения обычно свет самих окон, выступающих из земли, доминирует над способом освещения, форма на земле выражается в виде знаковой стеклянной световой крыши. В дополнение к введению естественного света имеет сильную направленность, проецируется дальше, свет равномерный и легко контролировать, и захватывать, этот способ освещения также имеет преимущества простой конструкции и простого обслуживания. Этот тип освещения больше подходит для помещений, в которых необходимо улучшить эффект освещения удаленных пространств, а также для помещений, в которых необходимо получить мягкий свет.

Преимущества: простая конструкция, легкое обслуживание, может уменьшить ощущение замкнутости подземного пространства и усилить естественную вентиляцию. Недостатки: занимают наземное пространство, увеличивают потребление энергии на кондиционирование. Улучшение: выступающий из-под земли вход для повышения освещенности превращается в здание-землянку, которое может удовлетворить потребность в освещении, а также сформировать ландшафт на земле.

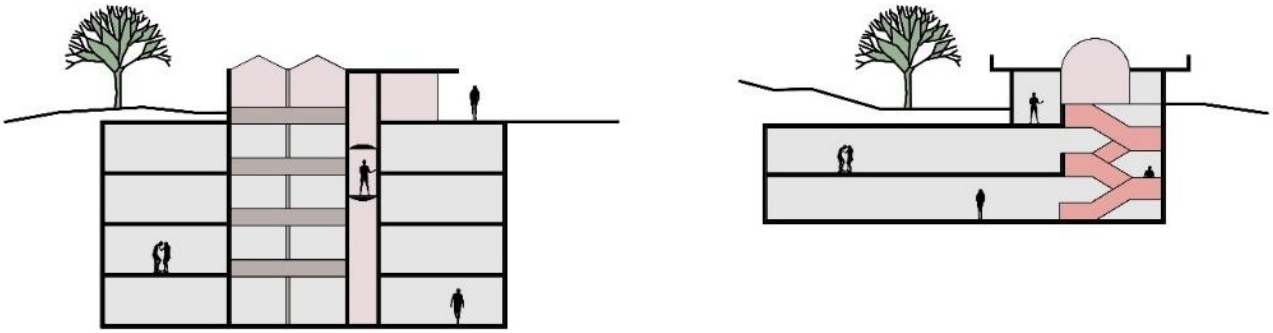

Рис. 2. Схема, иллюстрирующая введение поднимающегося пространства в подземном пространстве

Введение света от световых люков (рис. 3): Этот вид освещения подходит для земли на вершине здания является площадь и общественные зеленые пространства под землей, введение света через световой люк для достижения пути. В настоящее время большое количество торговых центров, объединенных с атрибутным пространством, устанавливают через подземный атриум освещение крыши, не только для удовлетворения потребностей подземного и наземного освещения, но и обогащают пространственный эффект, и эффективно достигают пространства связи и сотрудничества. Для того чтобы расширить поле зрения и добиться большой площади естественного освещения, атриум обычно располагают в месте, где сосредоточен поток людей.

Преимущества: высокая эффективность освещения, гибкость использования. Недостатки: большое влияние на тепловой режим внутреннего пространства, увеличение потребления энергии кондиционерами, легко вызывают блики. Улучшение: прямой свет может быть преобразован в непрямой, чтобы уменьшить воздействие бликов. Согласно проведенному сравнению, метод освещения типа световой люк обладает широкой практичностью и применим к новым зданиям, перестройкам и пристройкам, в то время как метод встраиваемого освещения и метод восходящего освещения имеют относительно большие ограничения и более высокую стоимость, но они могут играть относительно большую положительную роль в пространственном восприятии и формировании ландшафта.

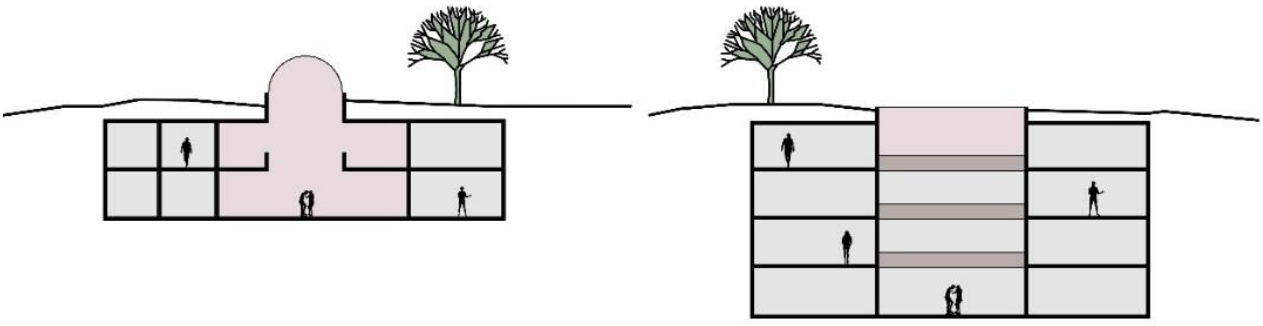

Рис. 3. Схема, иллюстрирующая введение естественного света в подземное пространство посредством световых фонарей

Вышеперечисленные три способа чаще всего используются в подземных коммерческих помещениях для естественного освещения, в практическом применении каждый из них имеет свою практичность, преимущества и недостатки.

Характер освещения доминирует над внутренней формой здания

Для подземных помещений часто существуют различные ограничения по поступлению света из-за преобладания внешней формы здания. Повышение эффективности использования ограниченного естественного

освещения – еще одна проблема, требующая решения. Для решения этой задачи необходимо спроектировать внутреннюю форму пространства для достижения цели эффективного использования пространства, чтобы ограниченный естественный свет мог облучать более широкое пространство, что основано на доминировании внутренней формы здания над способом освещения. При проектировании подземных зданий, в соответствии с потребностью в естественном освещении, в пространстве здания целесообразно вертикальное функциональное зонирование [2].

Этот подход подчеркивает изменение пространственной формы интерьера здания для направления естественного света [3]. Классификация подходов к естественному освещению подземных пространств предполагает их разделение на функционально-доминирующий и формообразующий методы. Функциональный подход детерминирован спецификой использования пространства: для общественных зон характерно применение масштабных светопрозрачных конструкций, обеспечивающих максимальную инсоляцию; в музейных помещениях акцент делается на экранировании и отражении света для создания рассеянного освещения; в культовых сооружениях применяются точечные световые проемы, формирующие особую атмосферу посредством направленных световых потоков. Формообразующий метод реализуется через организацию светопропускающих конструкций, таких как световые колодцы и атриумы, которые связывают различные уровни пространства и обеспечивают глубокое проникновение естественного света через механизмы преломления и диффузного рассеивания. Данный подход не только оптимизирует светораспределение, но и усиливает архитектурно-художественную выразительность подземного пространства, что особенно востребовано в крупных общественных и коммерческих объектах.

Внедрение естественного освещения с помощью технических средств

Для подземных пространств использование естественного света с помощью методов освещения с преобладанием формы всегда было ограничено [4]. С развитием технологий использование технических средств для введения естественного света также получило значительное развитие. Метод естественного освещения подземных коммерческих помещений с помощью технологий заключается в добавлении более независимого осветительного прибора в подземное пространство и одновременном использовании физических характеристик отражения, преломления и рассеивания света для настройки размещения осветительного прибора таким образом, чтобы достичь цели естественного освещения. Преимуществами освещения по технологии являются высокая эффективность освещения, меньшие ограничения со стороны окружающей среды и более широкая практичность. Недостатком является высокая стоимость и влияние на формирование пространства. В настоящее время основными способами технологического освещения являются световод, группа отражателей, оптоволоконный световод три. Относительно популярным является метод светов одного освещения, при котором труба, пропускающая свет, покрывается отражающей пленкой с коэффициентом отражения 0,99, и свет попадает в помещение после завершения отражения в светов одной трубе. Система устанавливается на крышах и внешних стенах зданий [5]. Для подземных зданий система устанавливается на крыше здания. К призматическим группам предъявляются более специфические требования по пространственному рисунку, поэтому их применение сложнее и реже встречается на практике. Оптические волокна менее популярны из-за их высокой цены.

Искусственное освещение

Метод освещения по форме может лишь локально улучшить световую среду подземного пространства, и до популяризации метода освещения по технологии искусственное освещение остается основным методом освещения в подземном пространстве. В настоящее время естественный свет все еще остается дефицитным ресурсом в подземных коммерческих общественных пространствах, и внедрение естественного света в основном носит локальный характер. В основном использование естественного света в локальном пространстве также будет обусловлено необходимостью дополнения светового времени, климатом, вызванным различными недостатками освещения и искусственным освещением. Подземное общественное пространство по

спросу на искусственное освещение в дополнение к удовлетворению требований функции освещения, некоторые из искусства восприятия окружающей среды и психологического чувства основных случаев, таких как узловые пространства, входы и так далее должны быть больше внимания на необходимость человеческого комфорта [6]. Искусственное освещение легко контролировать и использовать, оно не подвержено влиянию естественного климата, и с помощью прямого освещения, косвенного освещения, точечного источника света, линейного источника света, поверхностного источника света и других методов дизайна, в сочетании с использованием цвета света, контраста теплых и холодных цветов, одинаковой цветовой иерархии и других методов можно обогатить пространственную иерархию, улучшить пространственное соотношение, создать интересный центр, четкую пространственную ориентацию, улучшить экологическую атмосферу и другие эффекты. Таким образом, искусственное освещение является одним из важнейших средств освещения. Существует множество факторов, влияющих на искусственное освещение, таких как методы освещения, лампы и фонари, уровень освещения, блики, изменение цвета света, тени и так далее.

Способ искусственного освещения является основным направлением в создании световой среды. Освещение призвано создать комфортную и уютную обстановку, не все помещения необходимо освещать, нужно найти объекты и темы освещения, с помощью которых можно регулировать структуру освещения [7]. Методы освещения можно разделить на прямое, косвенное и пол упрямое освещение, разные методы освещения определяют различное распределение света в пространстве. Например, распределение света вверх при непрямом освещении более равномерное, стена косвенно становится отражателем ламп и фонарей, свет диффузно отражается от стены, что увеличивает диапазон распределения света. Непосредственно от ламп и фонарей, создаваемых равномерным рассеиванием света, яркость более концентрированная, прямое видение легко для глаз, большие площади использования заставят людей испытывать чувство усталости и скуки. Свет, создаваемый полупрямыми светильниками, потому что светильник представляет собой полупрозрачный материал, поэтому люди могут видеть более мягкий свет. Непрямое освещение может быть разным, обычно используется в сочетании с прямым освещением, диффузное отражение через потолок и стены, не только мягкий свет, но и может увеличить ощущение просторности помещения, тщательно обработанный источник непрямого света приближает к ощущению естественного светового облучения. Линейное освещение создает ощущение движения и направления в визуальной композиции, излучает относительно мягкий свет и подходит для размещения над проходом, чтобы усилить пространственную ориентацию. Гераневое освещение отличается гибкостью при изменении формы, а сочетание с пространственной формой может усилить ощущение пространственного порядка и создать различную атмосферу. Его можно использовать в атриуме и узлах подземного коммерческого пространства для создания кульминационной атмосферы, а также оформить в соответствии с темой, что является более декоративным.

Важность света и цвета

Способ введения света в пространство является необходимым условием для формирования световой среды. Естественный свет – это существенный и важный фактор в создании пространства, который оказывает большое влияние на пространство, а также напрямую влияет на психологические и физиологические ощущения людей в подземном пространстве. Внедрение большого количества естественного света в подземные здания, реализация пространственных потоков между подземным и наземным пространством – вот основные задачи создания световой среды в подземном пространстве. При искусственном освещении различные методы освещения дают совершенно разные световые эффекты, при создании искусственной световой среды не следует идти по пути погони за яркостью и дальностью освещения, следует удовлетворять физиологические и психологические потребности людей в качестве отправной точки, подчеркивая, что дизайн света – это сочетание количества и качества, это сочетание материального и духовного.

В дизайне интерьера цвет является более ярким и активным фактором. Цвет может из-

менить ощущение пространства и света, выразить горячее и холодное, старое и новое, близкое и далекое, а красивая и гармоничная внутренняя среда может быть создана с помощью цветового сочетания [8]. Например, недостаток солнечного света зимой, хмурая погода легко вызывают у людей пониженное настроение, поэтому теплые цвета коммерческих помещений более привлекательны для потребления. Весной люди предпочитают зеленый цвет, потому что он напоминает о свежих овощах и растениях, что стимулирует желание людей делать покупки [9]. Разные цвета обладают разными отражающими свойствами, поэтому цвет в интерьере может играть большую роль в регулировании освещенности. Теоретически белый цвет имеет 100-процентную отражающую способность, а черный – нулевую. На практике отражательная способность белого цвета часто составляет от 70 до 90 %, серого – от 10 до 70%, а черного – менее 10%. Отражательная способность цвета зависит в основном от яркости цвета, поэтому при использовании цвета для регулирования освещенности в помещении следует в первую очередь обращать внимание на яркость цвета, а затем уже на другие факторы. Высокая яркость цвета имеет низкую отражательную способность, что может снизить яркость помещения. Поэтому, когда освещение в помещении слишком сильное, можно выбрать цвет с низкой отражающей способностью, например, разнообразные серые серии цветов, когда освещение в помещении недостаточное, можно выбрать цвет с высокой отражающей способностью и высокой яркостью. Светлые и холодные цвета делают пространство шире. Темные цвета делают их более замкнутыми. Расположение цветов и текстур в помещении меняет его восприятие, заставляя комнату казаться выше, длиннее, шире или выделяя определенные элементы. Лучший способ создать ощущение простора в помещении - использовать светлые цвета, которые отражают естественный свет и делают стены более высокими. С другой стороны, чтобы комната казалась более компактной, маленькой и уютной, можно выбрать для стен более насыщенные цвета. Они будут поглощать большую часть естественного света и создавать впечатление закрытости, что более благоприятно для определенных функций. Иногда более низкие потолки могут создать ощущение домашнего уюта и сделать помещение более комфортным. Если потолки окрашены в более темный цвет, чем стены, или если текстура материала хорошо видна, это может создать впечатление, что потолки ниже. В некоторых других случаях все происходит наоборот. В некоторых квартирах потолки изначально низкие, что создает ощущение клаустрофобии. Покраска стен в темный цвет и потолка в белый создает впечатление более высокого потолка. Если покрасить заднюю стену и потолок в один темный цвет, а боковые стены – в более светлый, помещение будет казаться просторнее. Этот прием широко используется в коридорах или узких комнатах. Покраска двух противоположных боковых стен в темный цвет, а задней стены и потолка – в более светлый, сделает пространство визуально более узким и улучшит ощущение согласованности в помещениях с неравномерными размерами.

Заключение

Ключевым выводом исследования является понимание интерьерной среды подземных сооружений как комплексной системы, где пространственная организация, световой дизайн, цветовое решение и антропогенный фактор находятся в состоянии взаимозависимости и взаимовлияния. Пространство выполняет не только утилитарную, но и коммуникативную функцию, выступая носителем социальных практик. Световое решение наделяет пространство визуальной идентичностью и эмоциональным настроем, тогда как цветовая палитра непосредственно воздействует на психоэмоциональное состояние пользователей. Достижение оптимального качества среды предполагает синтез функциональности и эстетики, где визуальная информация поддерживает непрерывный интерес, а физический и психологический комфорт способствуют длительному пребыванию. Реализация экологического подхода в проектировании подземных пространств требует от проектировщиков комплексного внимания к светоцветовой организации как ключевому инструменту формирования гуманизированной и устойчивой среды, способствующей психологическому благополучию и обогащению sensory experience пользователей.

Библиографический список

1. Wang J., Jia X. Construction technology and strategy of natural light environment in urban underground space // Frontiers Research of Architecture and Engineering. – 2018. – № 1 (1). – Pp. 4-7.
2. Глозман, О.С. Формирование классификации подземных зон города // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 6-3. – С. 111-114.
3. Цай Сяньюнь, Чжао Хойюй, Лэй Сяолу и др. Исследование зеленого освещения подземных пространств с точки зрения здоровья // Зеленая архитектура. – 2024. – Т. 16, № 2. – С. 34-39.
4. Bouchet B., Fontoynont M. Day-lighting of underground spaces: design rules // Energy and buildings. – 1996. – № 23(3). – Pp. 293-298.
5. Бракле Д.Ж. Естественное освещение помещений с помощью новой пассивной световодной системы «SolarSpot»// Светотехника. – 2005. – № 5. – С. 34-42.
6. Лю Цичунь. Исследование дизайна световой среды общественных пространств в подземных коммерческих зданиях // Куньминский политехнический университет. – 2013. – С. 49-52.
7. Перова, Н. Эстетика вечернего города // АСД: Архитектура. Строительство. Дизайн. – 2002. – № 6 (34). – С. 2-3.
8. Huang L, Zhang L, Yao C, et al. The Application of Innovative Design Concept of Color and Light and Shadow in Underground Space Lighting // International Conference on Entertainment Computing. – Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. – Pp. 368-382.
9. Краева Н.А. Особенности создания цветового климата и рекомендации к проектированию предметно-пространственной среды в коррекционном детском доме // Проблемы современного педагогического образования. – 2021. – № 71-1. – С. 188-191.

FEATURES OF THE FORMATION OF THE LIGHT ENVIRONMENT IN UNDERGROUND SPACES

Zhang Yuzhu, *Graduate Student*
Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba
(Russia, Moscow)

Abstract. *The development of underground space is a historical necessity of urban development, and the creation of a comfortable lighting environment is a key aspect of designing public underground buildings. The purpose of this article is to systematically investigate methods for designing lighting in such spaces. The study summarizes methods for integrating natural light, analyzes the advantages and disadvantages of various approaches, and proposes concepts for natural lighting design. Factors related to the use of artificial lighting are also examined. In conclusion, the importance of light and color in forming a high-quality interior environment is emphasized. This research is intended to serve as a guide for optimizing the design of the light and color environment in underground spaces.*

Keywords: *underground space; light environment; natural lighting; artificial lighting.*