



**Ключевые слова:** Фотоэлектрические системы; энергоэффективность; архитектура; проектирование; солнечные панели; устойчивое развитие; солнечная энергия.

## **Введение**

Современная архитектура и градостроительство всё чаще сталкиваются с необходимостью поиска устойчивых и энергоэффективных решений. Рост энергопотребления, климатические изменения и глобальные экологические цели требуют пересмотра привычных подходов к проектированию городской среды. Среди наиболее перспективных направлений — использование возобновляемых источников энергии, в частности солнечной генерации. Фотоэлектрические системы (ФЭС) рассматриваются как важный элемент в формировании энергоэффективных решений и устойчивых форм жилья. При этом значительную роль играют не только инженерные параметры систем, но и архитектурные, конструктивные и планировочные решения, принимаемые на ранних этапах проектирования.

Актуальность темы подтверждается не только глобальными тенденциями устойчивого развития, но и практическим опытом автора. В рамках проектирования фотоэлектрических систем на различных типах зданий стало очевидно, что даже новые объекты зачастую не учитывают требований для эффективной установки ФЭС. Особенно это касается жилого сектора, где частные дома и многоквартирные здания имеют неоптимальную ориентацию крыш, ограниченную несущую способность и насыщены инженерным оборудованием, препятствующим размещению панелей (Махкамов и др., 2023). Похожие проблемы наблюдаются и в общественных объектах. Несмотря на внедрение нормативных инициатив в ряде стран, в практике архитектурного проектирования по-прежнему отсутствует комплексный подход к интеграции солнечных систем. В результате значительный потенциал ФЭС остаётся

неиспользованным, а сама установка становится технически и экономически затруднительной.

В этой связи проектировщикам необходимо переосмыслить подход к ФЭС: они должны рассматриваться не как добавочный элемент, устанавливаемый по завершении строительства, а как полноценная часть архитектурной концепции здания. Это требует не только технической подготовки, но и новой логики проектирования — когда системы солнечной генерации учитываются наравне с планировкой, несущими конструкциями и инженерными коммуникациями. Используются разные подходы: от сравнительного анализа с энергоэффективными аналогами до интегрированных методик, в которых здание рассматривается как единая энергетическая и экологическая система.

Всё более активно внедряются инструменты сертификации, позволяющие количественно оценить устойчивость проектных решений. Один из таких инструментов — EDGE, разработанный Международной финансовой корпорацией. Он позволяет моделировать показатели энергопотребления, водоэффективности и материалоемкости проекта. В совокупности с архитектурным анализом EDGE может использоваться для проверки того, насколько эффективной будет интеграция ФЭС в конкретное здание, и какие изменения стоит внести для снижения энергетических потерь.

В данной статье систематизируются архитектурные, конструктивные и нормативные подходы, применимые к проектированию энергоэффективной жилой застройки с возможностью эффективной интеграции фотоэлектрических систем. В работе рассмотрены практические примеры, анализируется действующая нормативная база, а также изучается зарубежный опыт, который может быть адаптирован в локальных условиях.

### **Обзор литературы по теме**

Интеграция солнечных фотоэлектрических систем (ФЭС) в жилую архитектуру становится предметом всё большего числа научных публикаций,

что подтверждается результатами библиометрического анализа. За последние 15 лет в международной академической среде наблюдается устойчивый рост интереса к тематике архитектурной интеграции ФЭС, особенно в контексте энергоэффективного и устойчивого проектирования. Современные исследования акцентируют внимание на концепции интегрированных в здание фотоэлектрических систем (BIPV), в которых солнечные модули становятся неотъемлемой частью фасадов, кровель и других архитектурных элементов (Liu X. et al., 2025; Zhang Y. et al., 2025).

Междисциплинарный характер темы подтверждается публикациями в таких областях, как архитектура, инженерия, энергетика, экология и социальные науки. Ведущие авторы и журналы (*Applied Energy*, *Renewable Energy*, *Energy and Buildings*) формируют основную научную повестку, сосредоточенную не только на технической эффективности, но и на эстетике, нормативных барьерах и цифровых подходах к моделированию (Koo C., Krarti M., Pearce J.M.).

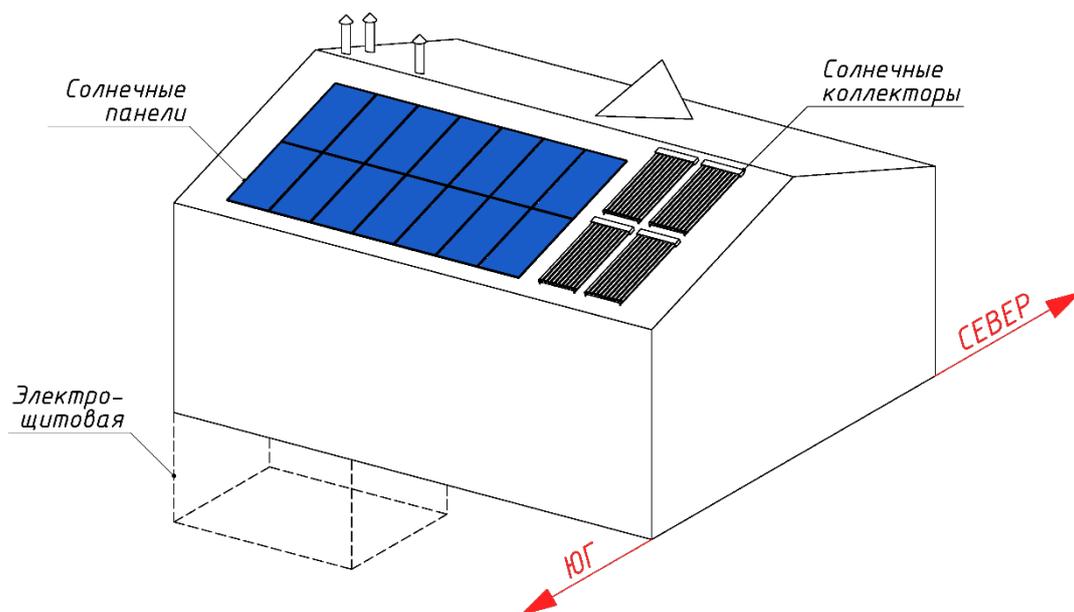
Отдельные исследования (Wen D. & Gao W., 2023; Chen L. et al., 2024) демонстрируют успешные международные практики проектирования зданий с положительным энергетическим балансом, где архитектурные и инженерные решения синхронизированы для максимальной генерации солнечной энергии. На первый план выходят вопросы цифрового анализа, в том числе моделирования с использованием BIM, солнечной инсоляции, мультикритериальной оптимизации и сертификационных систем, таких как EDGE и LEED.

Тем не менее, литература указывает и на сохраняющиеся барьеры: отсутствие комплексного подхода в проектировании, недостаточную подготовленность нормативной базы, а также ограниченную адаптацию зарубежного опыта в региональных условиях. Это подчёркивает необходимость дальнейших исследований, ориентированных на локальный контекст, с учётом климатических, экономических и градостроительных особенностей.

## **Архитектурно-конструктивные решения и практические проблемы интеграции ФЭС**

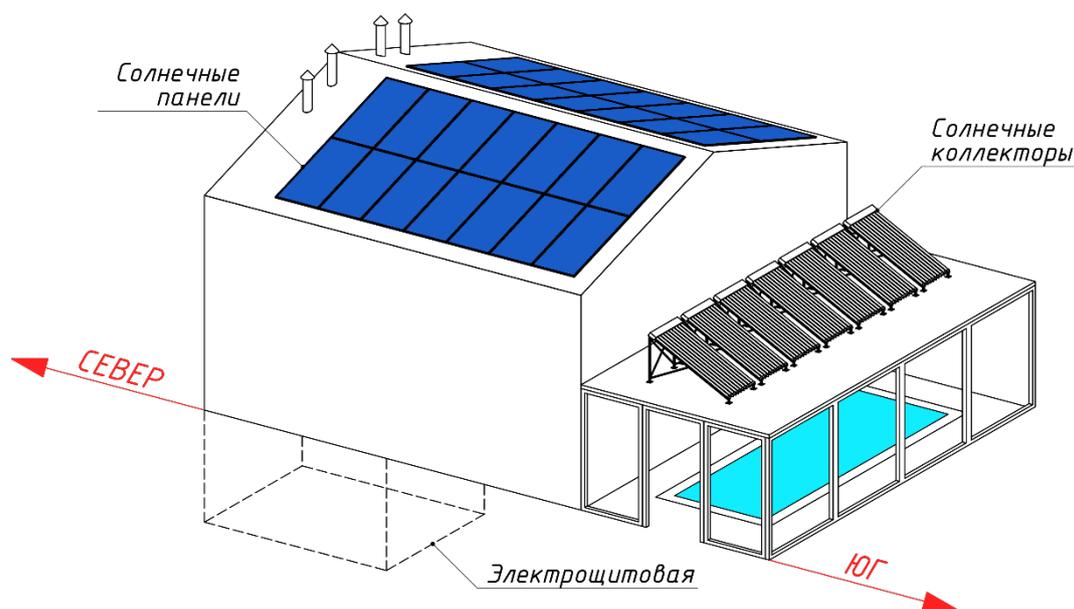
Интеграция фотоэлектрических систем в архитектуру начинается с грамотных конструктивных и планировочных решений, которые должны закладываться уже на ранних этапах проектирования. Одним из ключевых факторов является организация пространства крыши — именно она чаще всего используется как основная площадка для установки солнечных панелей. Однако анализ существующих объектов показывает, что в большинстве случаев крыши проектируются без учёта возможности размещения ФЭС. На кровлях часто хаотично размещены вентиляционные шахты, генераторы, кондиционеры, кабельные лотки и другие элементы, что не только ограничивает полезную площадь, но и создаёт зоны затенения, снижающие эффективность солнечных установок.

Кроме того, важным параметром является ориентация и угол наклона крыши. Наибольшая эффективность достигается при направлении поверхности на юг или юго-запад и угле наклона около  $30\text{--}35^\circ$ . Инженерные конструкции целесообразно размещать на северной стороне кровли, чтобы не создавать затенения для солнечных панелей (см. рис. 1). При невозможности ориентировать скаты строго на юг, допустимо использовать юго-восточное или юго-западное направление. При этом все дополнительные элементы на крыше рекомендуется располагать как можно ближе к северному краю, чтобы сохранить максимальную эффективность работы ФЭС (см. рис. 2).



**Рисунок 1.** Схема интеграции фотоэлектрических систем на южной стороне крыши (авторская иллюстрация).

Тем не менее, в реальных проектах ориентация определяется чаще всего не солнечной активностью, а условиями застройки участка или особенностями конструкции перекрытий. Плоские крыши, несмотря на их потенциальную универсальность (Махкамова, 2024), на практике часто оказываются перегруженными техническими элементами и плохо организованы.



## **Рисунок 2.** Вариант комплексной интеграции ФЭС на кровле и навесах частного дома (авторская иллюстрация).

Ещё один критически важный аспект — несущая способность конструкции. Кровельные материалы, балки и опорные элементы должны быть рассчитаны на дополнительную нагрузку от панелей, крепежных систем и балласта. Особенно это актуально для зданий с облегчёнными конструкциями, например из металлоконструкций или газобетона. Без предварительного расчёта прочности и учёта ветровой и снеговой нагрузки установка ФЭС может оказаться невозможной.

Кроме организации крыши, необходимо учитывать внутреннюю инженерию здания. Размещение инверторов, прокладка кабельных трасс, доступ к элементам для обслуживания — все эти моменты должны быть учтены на стадии проектирования. Связь между архитектурными и инженерными решениями должна быть чёткой и продуманной. Когда здание рассматривается как единая энергетическая система, можно достичь большей эффективности за счёт согласованности всех компонентов: от солнечных панелей и теплоизоляции до вентиляции и электрических сетей.

При оценке проектных решений дополнительную пользу может дать использование специализированных инструментов, позволяющих заранее просчитать потенциальный уровень энергоэффективности здания. Одной из таких методик является система сертификации EDGE, разработанная Международной финансовой корпорацией (IFC). Она позволяет моделировать влияние архитектурных решений — например, конфигурации кровли или свойств ограждающих конструкций — на общее потребление энергии, воды и строительных материалов.

Комплексный подход позволяет не только повысить общую энергоэффективность, но и гармонично включить солнечные панели в архитектурный облик здания. При этом ФЭС перестают быть просто навесной

технологией и становятся органичной частью архитектуры — элементом фасада, балконов, козырьков или других конструктивных элементов.

### **Нормативное регулирование и государственные инициативы**

Возможность успешной интеграции фотоэлектрических систем в архитектуру напрямую зависит от наличия чётко сформированной нормативной базы. В различных странах используются свои подходы к регулированию и стимулированию использования возобновляемых источников энергии, в том числе солнечных установок. Законы, субсидии, обязательные требования — все эти инструменты призваны ускорить переход к устойчивой энергетике (Müller, 2020; Юсупов, 2021).

В Узбекистане в последние годы наблюдается активное развитие политики в области солнечной энергетики. Согласно Постановлению Президента Республики Узбекистан от 16 февраля 2023 года № ПП-57, с 1 мая того же года стало обязательным оснащать не менее 50% свободной площади крыш новых многоэтажных жилых домов солнечными панелями. Похожие требования распространяются и на другие объекты — такие как автозаправочные станции и образовательные учреждения (ПП-57, 2023). Кроме того, реализуется программа «Солнечный дом», в рамках которой владельцам частных домов предоставляются субсидии за каждый произведённый киловатт-час энергии (Газета.uz, 2023).

Несмотря на наличие стратегических инициатив, в реальной проектной практике сохраняется ряд затруднений. Автор неоднократно сталкивалась с ситуациями, когда даже новые здания, формально подпадающие под нормативные требования по установке ФЭС, не имели соответствующей архитектурной или конструктивной подготовки (Махкамов и др., 2023). Кровли проектировались без учёта оптимальной ориентации, допустимой нагрузки, свободных технических зон и минимизации затенения. Кроме того, инженерное оборудование часто размещалось без логики зонирования, что делало

последующую установку панелей неэффективной или невозможной. Эти наблюдения подчёркивают необходимость разработки чётких проектных регламентов и рекомендаций для архитекторов и застройщиков.

Для сравнения, в ряде стран уже действуют точные требования на уровне законодательства. В Германии, Калифорнии и некоторых регионах Италии новые здания обязаны предусматривать установку солнечных панелей. Более того, на нормативном уровне прописаны параметры крыши, минимальный наклон, допустимая затенённость и необходимость наличия технических зон (Renewables Now, 2023). В таких странах, как Великобритания и Япония, используются добровольные системы оценки устойчивости зданий, которые мотивируют проектировщиков учитывать энергетические характеристики на самых ранних этапах (Torres, 2023; Green Building Council, 2021).

С учётом международного опыта очевидна необходимость развития национальной нормативной базы. Это предполагает создание методических рекомендаций для архитекторов и проектировщиков, а также разработку строительных регламентов, учитывающих технические, конструктивные и эксплуатационные особенности зданий, в которых планируется размещение ФЭС (IFC, 2021; Назарова, 2023).

### **Научно обоснованные предложения и рекомендации**

Проведённый анализ архитектурных, конструктивных и нормативных аспектов интеграции фотоэлектрических систем (ФЭС) в проектирование жилой застройки позволил выявить системные проблемы, существенно снижающие эффективность их внедрения. Несмотря на наличие государственных инициатив и программ поддержки, большинство новых зданий проектируются без учёта будущего размещения ФЭС, что создаёт барьеры для реализации стратегии устойчивого развития.

Наиболее распространённые проблемы включают:

- отсутствие стандартизированных архитектурных и конструктивных решений для размещения ФЭС;
- перегруженность плоских крыш инженерным оборудованием и хаотичное зонирование технических зон;
- неучёт ориентации зданий и параметров кровель в соответствии с инсоляционными характеристиками;
- низкую несущую способность конструкций;
- недостаточное междисциплинарное взаимодействие между архитекторами, инженерами и энергетиками на ранних стадиях проектирования.

На основании проведённого анализа и практического опыта автора предлагаются следующие рекомендации для повышения эффективности интеграции ФЭС:

1. Ввести обязательные нормативные требования по расчёту несущей способности крыш с учётом дополнительной нагрузки от солнечных панелей и необходимого оборудования для их эксплуатации.
2. Разработать стандартизированные рекомендации по организации кровельного пространства, предусматривающие чёткое зонирование инженерных систем, свободное размещение панелей и удобство их дальнейшего обслуживания.
3. Учитывать ориентацию кровли на южную или юго-западную стороны с углом наклона около  $30\text{--}35^\circ$ , что обеспечит максимальную генерацию солнечной энергии.
4. Создать методические материалы и типовые проекты, которые помогут архитекторам и проектировщикам легко и грамотно интегрировать ФЭС в архитектурные концепции частных домов, многоэтажных жилых зданий и общественных объектов.
5. Использовать специализированные инструменты энергоэффективного моделирования на ранних этапах архитектурного

проектирования, что позволит выбрать оптимальные решения и заранее оценить их эффективность.

Мировой опыт показывает, что для успешного внедрения этих рекомендаций важно использовать комплексный подход. Это значит, что должны быть не только понятные и обязательные нормативные требования, но и чёткое взаимодействие между архитекторами, инженерами и другими специалистами, а также практическое руководство для проектировщиков.

### **Ожидаемые экономические результаты**

Интеграция фотоэлектрических систем в архитектурные решения на этапе проектирования способна привести к значительным экономическим эффектам как на уровне отдельных объектов, так и в масштабах всей строительной отрасли.

Во-первых, размещение солнечных панелей с учётом оптимальных конструктивных и планировочных параметров снижает затраты на их установку и обслуживание. Когда здание изначально подготовлено для размещения ФЭС — с правильно ориентированной крышей, достаточной несущей способностью и продуманным зонированием инженерных систем — необходимость в доработках, усилениях и реконструкции отпадает, что экономит ресурсы и время.

Во-вторых, эффективное использование солнечной энергии позволяет существенно сократить расходы на электроэнергию в течение всего жизненного цикла здания. Это особенно актуально для многоквартирных жилых домов и социальных объектов, где масштабы потребления велики, а снижение затрат на коммунальные услуги может иметь ощутимый социальный эффект.

Например, установка фотоэлектрической системы мощностью 10 кВт на крыше частного жилого дома в условиях Узбекистана позволяет в среднем производить около 14 000 кВт·ч электроэнергии в год. При тарифе 600 сумов за кВт·ч (согласно постановлению, вступающему в силу с 1 мая 2025 года), это

эквивалентно экономии примерно 8,4 млн сумов в год (Kun.uz, 2025). Если здание изначально спроектировано с учётом оптимального размещения панелей, затраты на установку и подключение снижаются, а срок окупаемости системы может составить 4–6 лет. При этом срок службы солнечной установки достигает 20–25 лет, а излишки энергии могут быть реализованы через сеть.

Кроме того, благодаря государственным программам — таким как субсидии, налоговые льготы и возможность продавать излишки электроэнергии — установка солнечных панелей становится выгодной не только для крупных застройщиков, но и для частных домовладельцев. Если учитывать возможность интеграции ФЭС ещё на стадии проектирования, это может превратиться в устойчивую и экономически оправданную практику, от которой выиграют и люди, и городская среда.

Таким образом, установка солнечных панелей — это не просто способ сократить расходы на электроэнергию. Если продумать всё на этапе проектирования, можно не только сэкономить на строительстве и эксплуатации, но и повысить общую ценность здания, сделать его более привлекательным для инвесторов и жильцов.

## **Заключение**

Переход к устойчивому и энергоэффективному строительству требует пересмотра подходов к проектированию зданий, особенно в части интеграции фотоэлектрических систем. Проведённый анализ показал, что на сегодняшний день потенциал солнечной генерации остаётся во многом не реализованным — как из-за конструктивных ограничений зданий, так и из-за отсутствия комплексного проектного и нормативного подхода.

Практический опыт подтверждает, что эффективность ФЭС напрямую зависит от того, были ли они учтены ещё на стадии архитектурной концепции. Без этого солнечные панели становятся лишь техническим дополнением, требующим компромиссов и дополнительных затрат.

Для того чтобы интеграция ФЭС стала логичной частью городской среды и строительной практики, необходимы как нормативные изменения, так и методическое сопровождение проектировщиков. Адаптация существующих стандартов, создание типовых решений и междисциплинарное взаимодействие между специалистами могут обеспечить переход от единичных решений к системному подходу.

Таким образом, солнечные панели следует рассматривать не только как средство снижения затрат на электроэнергию, но и как важный элемент устойчивого проектирования. Их интеграция должна осуществляться на раннем этапе — ещё в рамках архитектурной концепции, когда формируются ключевые пространственные и конструктивные решения. Такой подход позволяет включить ФЭС в структуру здания логично и органично, обеспечить их эффективность и долговечность, а также повысить общий уровень энергоустойчивости и архитектурной целостности объекта.

### **Список использованных источников**

1. Республика Узбекистан. Постановления. О мерах по ускорению внедрения возобновляемых источников энергии и энергосберегающих технологий в 2023 году: Пост. Президента РУз от 16.02.2023 г. № ПП-57 [Электронный ресурс]. – URL: <https://lex.uz/docs/6385720> (дата обращения: 14.04.2025).
2. Махкамов, Т. А. Проектирование частных домов с учётом установки возобновляемых источников энергии [Электронный ресурс] / Т. А. Махкамов, Л. Р. Махкамова, Ш. А. Мухаммадова. – 2023.
3. Махкамова, Л. Р. Методы и технологии установки солнечных панелей на плоских крышах: анализ эффективности и эксплуатационные аспекты [Электронный ресурс] / Л. Р. Махкамова // Theory and Analytical Aspects of Recent Research : материалы международной научно-практической онлайн-конференции, 9 сентября 2024 г., Стамбул, Турция. – CESS, 2024. – С. 77–81. – URL: [www.interoncof.com](http://www.interoncof.com) (дата обращения: 11.04.2025).

4. Гришакова, А. А. Солнечные панели как архитектурный элемент в жилых проектах // Достижения науки и образования. – 2023. – № 4(91). – С. 34–36.
5. Гуляев В. П. Интеграция солнечных установок в архитектуру зданий / В. П. Гуляев // Энергосбережение в строительстве. – 2022. – № 4. – С. 21–26.
6. Ибрагимов Р. Ш. Архитектурные особенности применения солнечных панелей в жилых зданиях / Р. Ш. Ибрагимов // Вестник архитектуры и дизайна. – 2021. – № 3. – С. 50–55.
7. Liu X., Zhang Y., Chen L. Integrated Photovoltaics in Contemporary Architecture: Aesthetic and Functional Synergies // Renewable Energy. – 2025. – Vol. 218. – P. 451–466.
8. Zhang Y., Liu M., Wen D. Optimization of BIPV Systems in Residential Architecture under Varying Climatic Conditions // Solar Energy. – 2025. – Vol. 260. – P. 311–324.
9. Koo C., Hong T., Jeong K. A study on decision-making process for building-integrated photovoltaics design using BIM // Energy and Buildings. – 2023. – Vol. 285. – Article 112853.
10. Krarti M., Pearce J.M. Cost-optimal design and policy recommendations for BIPV integration in residential buildings // Applied Energy. – 2022. – Vol. 309. – P. 118390.
11. Wen, D., Gao, W. Impact of renewable energy policies on solar photovoltaic energy: comparison of China, Germany, Japan, and the United States of America // Distributed energy resources: solutions for a low carbon society. – Cham: Springer International Publishing, 2023. – P. 43–68.
12. Chen L., Sun Y., Qian W. Adaptive façade-integrated photovoltaic systems: balancing energy production and design quality // Sustainability. – 2024. – Vol. 16(2). – P. 1103.
13. Torres, M. Sustainability indicators in early-stage building design. – London: Routledge, 2023.

14. Vassileva, A. OVERVIEW — Rooftop solar to become mandatory in several German states in 2023 [Электронный ресурс] // Renewablesnow.com. – 2022. – URL: <https://renewablesnow.com/news/overview-rooftop-solar-to-become-mandatory-in-several-german-states-in-2023-809103/> (дата обращения: 14.04.2025).

15. International Finance Corporation. EDGE User Guide: A measurable way to green buildings [Электронный ресурс]. – 2021. – URL: <https://edgebuildings.com>

16. Министерство энергетики Республики Узбекистан. С 1 мая в Узбекистане вводится новый тариф на электроэнергию [Электронный ресурс] // Kun.uz. – 2025. – URL: <https://kun.uz/ru/news/2025/04/09/s-1-maya-v-uzbekistane-vvoditsya-novyy-tarif-na-elektroenergiyu> (дата обращения: 14.04.2025).

17. Газета.uz. В Узбекистане стартовала программа «Солнечный дом» [Электронный ресурс]. – 2023. – URL: <https://www.gazeta.uz/ru/2023/05/10/solar/>

18. Махкамова Л. Р. Схема интеграции фотоэлектрических систем на южной кровле [Изображение] / Л. Р. Махкамова. – 2025.

19. Махкамова Л. Р. Вариант комплексной интеграции ФЭС на кровле и навесах частного дома [Изображение] / Л. Р. Махкамова. – 2025.