

УДК 624.016

**КОНСТРУКЦИИ И МАТЕРИАЛЫ ЗАПОЛНЕНИЯ  
СВЕТОВЫХ ПРОЕМОВ  
WINDOW OPENING CONSTRUCTIONS AND MATERIALS**

Е.Д. Нежиков, А.Н. Медведева

Научный руководитель – В.В. Янчук, ассистент

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

E. Nezhikov, A. Miadvedeva

Supervisor – V. Yanchuk, assistant

Belarusian national technical university, Minsk

**Аннотация:** в данной работе приведен обзор вариантов заполнений световых проемов. Описаны конструкции классических стеклопакетов, а также конструкции с использованием мембран ETFE. Приведены их характеристики, достоинства и недостатки.

**Abstract:** this paper gives an overview of the options for filling light openings. Designs of classical double-glazed units as well as designs using ETFE membranes are described. Their characteristics, advantages and disadvantages are given.

**Ключевые слова:** световой проем, стеклопакет, ETFE мембрана.

**Keywords:** window opening, glass unit, ETFE membrane.

**Введение**

При проектировании зданий требуется также подбирать конструкции, заполняющие световые проемы. Особенно в последние годы, когда заметна тенденция увеличения относительной площади последних. При этом необходимо выдерживать требуемые характеристики по теплоизоляции, звукоизоляции, светопропусканию, механической прочности и долговечности, а также эстетическому виду. С появлением новых материалов возможно получать более качественные решения в зависимости от назначения здания.

**Основная часть**

Современные окна из ПВХ называют также пластиковыми стеклопакетами, поскольку площадь стекла составляет 90% всей конструкции. Поэтому эта площадь является решающим фактором, определяющим тепло- и звукоизоляционные свойства окна. Стеклопакеты состоят из двух или более стекол, разделенных полостью, заполненной воздухом или инертным газом (аргоном) и герметично соединенных по контурам и через дистанционные рамки с осушителями. Выбор и подготовка строительного материала, а также качество герметизации стеклопакета являются определяющими условиями долговечной надежности стеклопакета. От качества стеклопакета во многом зависят общие эксплуатационные характеристики конструкции, в том числе внешний вид окна, комфорт внутри помещения, безопасность и затраты на отопление. Благодаря герметичности полостей оконного стекла влага и пыль не проникают внутрь и не ухудшают освещенность здания.

Двухкамерные стеклопакеты отличаются количеством зазоров между стеклами. Ранее в оконной промышленности использовались простые однокамерные стеклопакеты. Современные требования к техническим и

потребительским характеристикам привели к появлению двух-, трех- и однокамерных энергосберегающих стеклопакетов.

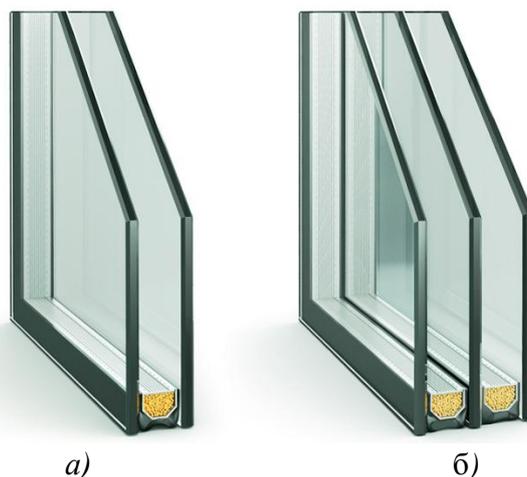
Одинарные стеклопакеты – это стеклопакеты, состоящие из двух стекол. Наиболее распространенная толщина стекла – 4–6 мм. Стекла отделены друг от друга на фиксированное расстояние специальной дистанционной рамкой. В наиболее распространенной формуле для однокамерных стеклопакетов толщина стекла равна 24 мм. Например, 4–16–4, т.е. по 4 мм – толщина стекол, а 16 – расстояние между ними. Теоретически расстояние между стеклами стеклопакета может быть достаточно большим, чтобы повлиять на стоимость однокамерного стеклопакета, но превышение оптимальной толщины стеклопакета не только не приведет к дальнейшему улучшению теплозащитных свойств, но, наоборот, снизит эти свойства за счет возникающих конвективных потоков. На рисунке 1 изображен одинарный стеклопакет.[10]



Рисунок 1 – Одинарный стеклопакет

По количеству внешних дистанционных рамок различают однокамерные и двухкамерные стеклопакеты: 1 – для однокамерных стеклопакетов и 2 – для двухкамерных. Если стеклопакет имеет черную полосу по внутреннему периметру, то это означает, что внутри находится еще один слой стекла и это двухкамерный стеклопакет, если нет – однокамерный стеклопакет.

Двойное остекление – это развитие обычного однокамерного стеклопакета, направленное на улучшение тепловых свойств и снижение уровня шума, проникающего в квартиру извне. Принцип работы стеклопакета заключается в том, что три стекла объединяются в единую герметичную систему с помощью двух рам. На рисунке 2 изображены виды стеклопакетов по числу камер. [9]



а) – однокамерный стеклопакет, б) – двухкамерный стеклопакет  
Рисунок 2 – Виды стеклопакетов по числу камер

Форма стеклопакета может быть различной. Толщина стекол варьируется от 4 до 6 мм, расстояние между стеклами может быть разным. Для наиболее эффективного снижения уровня шума расстояние между стеклами в едином блоке должно быть разным. Это означает, что ширина рам стеклопакетов должна быть разной. Наиболее распространенная формула для стеклопакета предполагает общую толщину 32 мм (4–10–4–10–4 или 6–8–4–10–4 для более высоких уровней звукоизоляции).

Однокамерные стеклопакеты больше подходят для южных широт. Там, где помещения отапливаются в зимнее время, устанавливать такие стеклопакеты не рекомендуется. Во-первых, они обладают очень низкими теплоизоляционными свойствами, что приводит к низкому показателю экономической эффективности, а во-вторых, одинарные стеклопакеты часто запотевают из-за конструктивных особенностей. В регионах средних широт, где не бывает суровых зим, используют один или два стеклопакета. В северных регионах, где морозы могут достигать  $-40^{\circ}\text{C}$ , лучше использовать три, четыре или даже шесть камер. [6]

ETFE (этилентетрафторэтилен) – современный полимерный материал, характеризующийся малым весом и высокой прочностью, а также являющийся отличным изолятором, ETFE благодаря своим эксплуатационным характеристикам широко используется в строительстве и инженерных проектах. Материал является экологически чистым, как и его сырье: ETFE изготавливается из полевого шпата. Он является отходом при добыче свинцовых и оловянных руд. Этилен, получаемый из нефтехимических продуктов или биоэтанола, добавляется к этому материалу путем сополимеризации.

Пленочные пакеты из ETFE требуют меньше стальных опор, чем традиционные системы остекления, что делает их более простыми в установке и зачастую более дешевыми. Многослойные системы состоят из заключённых в алюминиевые профили мембран-подушек, которые поддерживаются лёгкой несущей конструкцией. В пространство между слоями периодически поступает воздух под низким давлением, чтобы обеспечить нужный уровень теплоизоляции и сопротивляемости внешним нагрузкам элемента конструкции. Эта технология отлично подходит для использования в районах с высокими ветровыми и

снеговыми нагрузками, а также повышенной сейсмической активностью. Вес квадратного метра площади трехслойной воздушной мембранной конструкции составляет примерно 2–3 кг, или около 1 % от веса аналогичного структурного остекления. Масса вспомогательных силовых элементов также значительно меньше. На рисунке 3 изображены ограждающие конструкции или мембраны ETFE. [11]



Рисунок 3 – Ограждающие конструкции или мембраны ETFE

Помимо небольшой массы, еще одним важным преимуществом ETFE является его высокая прозрачность. Пропускающий до 95 % света, ETFE является наиболее предпочтительным материалом для таких проектов, как газонные стадионы, где для роста растений необходимо пропускать полный спектр естественного света и ультрафиолета. Слой ETFE толщиной 250 мкм пропускает около 98 % солнечного УФ-излучения [7]. Это свойство широко используется при строительстве теплиц, ботанических садов, оранжерей, бассейнов и аквапарков, позволяя принимать естественные солнечные ванны в любое время суток в любой климатической зоне мира. Если высокий уровень светопропускания не требуется, на пленку ETFE можно наносить печать или дифракцию для создания разнообразных рисунков, снижающих солнечную активность при сохранении прозрачности. При производстве многослойных пневмоэлементов аналогичные рисунки на разных слоях могут быть смещены относительно друг друга для достижения полного или частичного затемнения всей многослойной пленки. При приложении избыточного давления между двумя такими слоями рисунок смещается относительно друг друга, изменяя интенсивность светового потока и создавая эффект "жалюзи".

Толщина пленки ETFE составляет 50–300 мкм. При этом особая многослойная структура полимерной пленки не разрушается под воздействием солнечного света в ультрафиолетовом диапазоне длин волн благодаря инертным свойствам химических молекул материала, в отличие от поликарбоната, который под воздействием УФ-излучения "деградирует" (трескается, желтеет). [7]

Мембраны ETFE являются эластичными материалами и обладают высокими прочностными характеристиками при растяжении. Удлинение при разрыве варьируется в пределах 150–400%.

Еще одно преимущество этого материала – пожаробезопасность: ETFE-пленка относится к группе горючести Г1, не распространяет горение и не образует капель при плавлении. В случае пожара в пленке открывается большое отверстие, через которое выходят продукты горения, что приводит к резкому снижению температуры в зоне горения. В больших конструкциях (например, атриумах, куполах) электрические провода могут быть протянуты непосредственно под и над пленкой, и при срабатывании пожарной сигнализации провода подвергаются принудительному нагреву, разрезая мембрану. При этом в наружной стене быстро образуется большая щель для выхода дыма и газов в атмосферу.

Широкий диапазон рабочих температур позволяет использовать мембранную систему в экстремально жарких или экстремально холодных регионах, таких как пустыни, Арктика и Антарктида. Поверхность материала не растрескивается под воздействием высоких или низких температур.

Расчетный срок службы пленочных материалов ETFE и многослойных амортизирующих подсистем составляет более 50 лет. Это связано с постоянно растянутым напряженным состоянием пленки в надувной системе. Кроме того, стыки ячеек эластичны (нет трения и зазоров), что не ограничивает срок их службы. Например, срок службы резиновых уплотнителей в стеклопакетах составляет 10–15 лет.

Материал инертен к кислотам, щелочам и другим агрессивным средам. Поэтому его можно использовать как в городских условиях, так и в условиях промышленных зон, таких как химическое производство, угольные и минеральные месторождения.

Об энергоэффективности этого материала можно сказать следующее. Минимальное количество слоев материала в "подушке" – два. Чем больше слоев материала в системе воздушных мембран, тем выше сопротивление теплопередаче. Расходы на отопление, кондиционирование воздуха и освещение зданий с мембранной кровлей снижаются в несколько раз, по сравнению с традиционным остеклением. Также затраты энергии на компрессорную установку для поддержания избыточного давления воздуха между слоями мембранной системы составляют 100 Вт на 1000 м<sup>2</sup> поверхности оболочки.[7]

ETFE используется для изоляции электрических кабелей в автомобилях, самолетах и роботах, а также для покрытия контейнеров с высокоагрессивными жидкостями, ETFE применяется в аэрокосмической технике с 1972 г. Уникальные изоляционные и механические свойства ETFE, их стабильность в широком диапазоне температур оказались востребованными в этих областях человеческой деятельности. Материал обычно используется в строительстве для создания

прозрачных крыш, козырьков и фасадов. Он также используется при строительстве спортивных стадионов, аэропортов, торговых центров и других крупных сооружений. Кроме того, ETFE используется в различных промышленных и научных областях, где требуется химическая стойкость, высокая прочность на разрыв и прозрачность. [8]

Из недостатков пленок ETFE можно выделить опасность их повреждения острыми предметами, необходимость постоянной качественной инженерной поддержки для контроля заполнения панели воздухом.

### **Заключение**

Сравнивая традиционные системы остекления и пленочные, очевидно, что стеклопакеты ведут в части их многофункциональности (одно-, двухкамерные), а также по высшей устойчивости к потере тепла и шумоизоляции, но уступают в экономичности, количестве строительных материалов и пожаробезопасности.

Для каждого конкретного варианта строительства необходимо принимать решение индивидуально, так как для зданий разного назначения определяющими будут являться различные факторы (спектр, шумоизоляция, прозрачность и т.д.).

### **Литература**

1. Пленочные светопрозрачные конструкции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://airroof.ru/produktsiya/architecture>. – Дата доступа 23.10.2023.
2. Современный строительный материал ETFE – пленка [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ais.by/story/15124>. – Дата доступа: 25.10.2023.
3. Пленка ЭТФЭ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lommetex.ru/ru/etfe/>. – Дата доступа: 25.10.2023.
4. ETFE – Membrane [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.nowofol.com/en/etfe-architecture/etfe-membrane/>. – Дата доступа: 24.10.2023.
5. ETFE Film [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ets-na.com/ets-materials/etfe-film/>. – Дата доступа: 24.10.2023.
6. Что такое однокамерный стеклопакет [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://otkroyokno.ru/%D1%87%>. – Дата доступа: 01.11.2023.
7. Пленки ЭТФЭ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://maistro.ru/katalog/fasady/kombinirovannyj-fasad/plyonki-etfe-membrannye-tehnologii-v-arhitecture-i-stroitelstve>. – Дата доступа: 01.11.2023.
8. Этилен – тетрафторэтилен – ЭТФЭ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://transcoolpolymers.ru/fluoropolymers-etfe>. – Дата доступа: 01.11.2023.
9. Однокамерный или двухкамерный стеклопакет [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elit-okna.by/odnokamernyj-ili-dvuhkamernyj-steklopaket/>. – Дата доступа: 02.11.2023.
10. Окна с одинарным остеклением [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.realbrest.by/novosti/brest-i-region/okna-s-odinarnym>. – Дата доступа: 02.11.2023.
11. What is ETFE and Why Has it Become Architecture's Favorite Polymer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.archdaily.com/784723>. – Дата доступа: 02.11.2023.