

Металлические кровли: Воздействие повышенных температур на подкровельные плёнки

- Функция подкровельной мембраны на металлических кровлях
- Последствия повреждения подкровельной мембраны
- Понимание механизмов повреждения и уменьшения последствий
- Различные повреждающие факторы под черепицей и металлической кровлей
- Почему термостойкая мембрана особенно важна под вентилируемыми металлическими покрытиями?
- Различия в поведении при старении термостабильных и стандартных мембран
- Процессы искусственного старения как основа для прогноза срока службы
- Резюме

Функция подкровельной мембраны на металлических кровлях

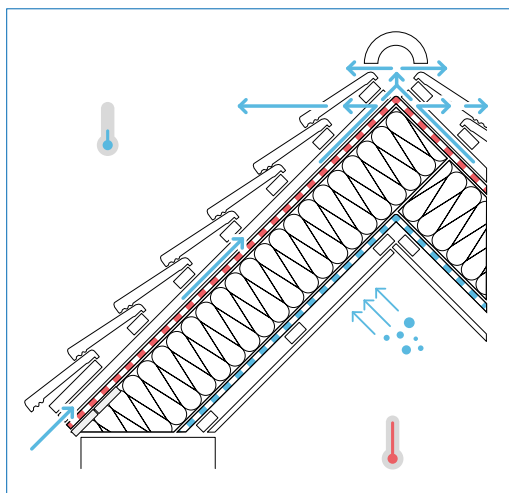


Рис. 1: Конструкция скатной крыши с полным утеплением стропил и одним вентзазором

Крыши, как часть ограждающей конструкции здания, почти всегда испытывают наиболее сильные атмосферные воздействия. В регионах, где хотя бы время от времени выпадают осадки, скатная крыша зарекомендовала себя на протяжении столетий и по-прежнему обеспечивает наибольший потенциал защиты сегодня. Минеральная черепица или металлические покрытия без проблем выдерживают высокие температуры в результате солнечного излучения в течение многих десятилетий. Поскольку чердаки теперь используются также для проживания и / или работы, и одновременно повысились требования пользователей к комфорту, возникла необходимость в установке нескольких уровней изоляции. Защита от внешних осадков обеспечивается применением подкровельных мембран, а повреждения крыши водяным паром – установкой воздухо- и пароизоляции.

В случае металлических кровельных материалов большого формата (металлочерепица, профнастил, т.н. клик-фальц), диффузионная мембрана подвержена более высоким колебаниям температуры, чем под черепицей. Минеральные кровельные материалы малого формата (керамическая и ЦПЧ) имеют значительно большую тепловую инерцию и предлагают лучшие возможности вентиляции. В результате мембраны под металлической кровлей постоянно подвергаются воздействию высоких температур, что, однако, не должно снижать их долговременную функциональность. Потому что под металлической кровлей ночью и в ранние утренние часы может образовываться большое количество конденсата, который не должен проникать в нижележащие слои крыши и повреждать утеплитель и стропила.

Таким образом, идеальная подкровельная мембрана под металлическими кровельными материалами открыта для диффузии, чтобы позволить водяному пару, проникающему из конструкции, высохнуть, и в то же время обладает высокой стойкостью к проникновению воды, чтобы защитить внутренние слои от капель или стекания конденсата. Чтобы плёнки могли выполнять эту важную защитную функцию в течение длительного времени, они должны иметь очень хорошую устойчивость к старению при более высоких температурах (температурную стабильность).

Металлические кровли: Воздействие повышенных температур на подкровельные плёнки



Рис. 2: Примеры повреждений, вызванных неправильным выбором подкровельной мембраны (сверху слева направо: увлажнение и, следовательно, неэффективная теплоизоляция после проникновения воды извне, образование плесени на сплошном настиле, повреждения стропильной конструкции из-за воздействия влаги, старение функционального слоя мембраны)

Хотя подкровельная мембрана – независимо от того, дешевая она или дорогая – составляет лишь очень небольшую часть общих затрат на конструкцию крыши, её выход из строя может иметь неприятные и финансово очень затратные последствия для застройщиков, проектировщиков, продавцов и строителей.

- Снижение изоляционных свойств утеплителя, установленного между стропилами, и, как следствие, увеличение потребления энергии
- Образование плесени с негативным воздействием на качество воздуха в помещении и возможными последствиями для здоровья жителей
- Заражение древесины конструкции крыши дереворазрушающими гри-

бами и возможное снижение устойчивости конструкции крыши

Такие повреждения обычно происходят всего через несколько лет после того, как был построен дом. Ремонт описанного выше ущерба всегда сопряжён со значительными неудобствами для домовладельцев и часто с очень большими затратами. Кроме того, выяснение ответственности за ущерб и принятие на себя расходов часто приводят к юридическим спорам. Независимо от результата и фактической ответственности, вина часто возлагается на проектировщиков и кровельщиков, даже если это относится «всего лишь» к выбору или рекомендации продукта, который, в будущем, оказался неподходящим для применения под металлической кровлей.

Понимание механизмов повреждения и уменьшения последствий



Рис. 3: Факторы, влияющие на старение подкровельных мембран.

Независимо от типа кровельного материала, подкровельная мембрана должна защищать конструкцию крыши от дождя – вплоть до окончательного покрытия кровли, особенно, если должны проводиться дальнейшие работы внутри здания. До момента покрытия кровли основным фактором повреждения мембраны является ультрафиолетовое излучение.

Когда крыша покрыта, значение отдельных факторов повреждения для старения мембран смещается. Уложенное кровельное покрытие предотвращает дальнейшее воздействие УФ-излучения на мембрану. Ослабляются и другие повреждающие факторы – влажность и механическое воздействие. Поскольку фаза покрытого состояния во много раз превышает продолжительность пребывания на открытом воздухе, нагрев и движение воздуха / окисление приобретают все большее значение. Из-за солнечного излучения более высокие

температуры возникают снова и снова в разное время дня или года. То же самое относится к движению воздуха между кровлей и мембраной, которое инициируется как солнечным излучением (нагревом), так и ветровым воздействием на поверхность крыши и её вентиляционные отверстия.

Повреждение полимеров из-за окислительного старения

Полимерные материалы, которые используются при производстве подкровельных мембран, могут иметь срок службы от нескольких лет до нескольких десятилетий. Хотя физические свойства многих полимеров меняются во время производства и последующего использования, можно предотвратить изменения или старение полимеров с помощью подходящих модификаторов (например, с использованием стабилизаторов, абсорберов, пигментов) или даже увеличить срок службы с помощью сшитых пластиков (например, акрилатов).

Понимание механизмов повреждения и уменьшения последствий

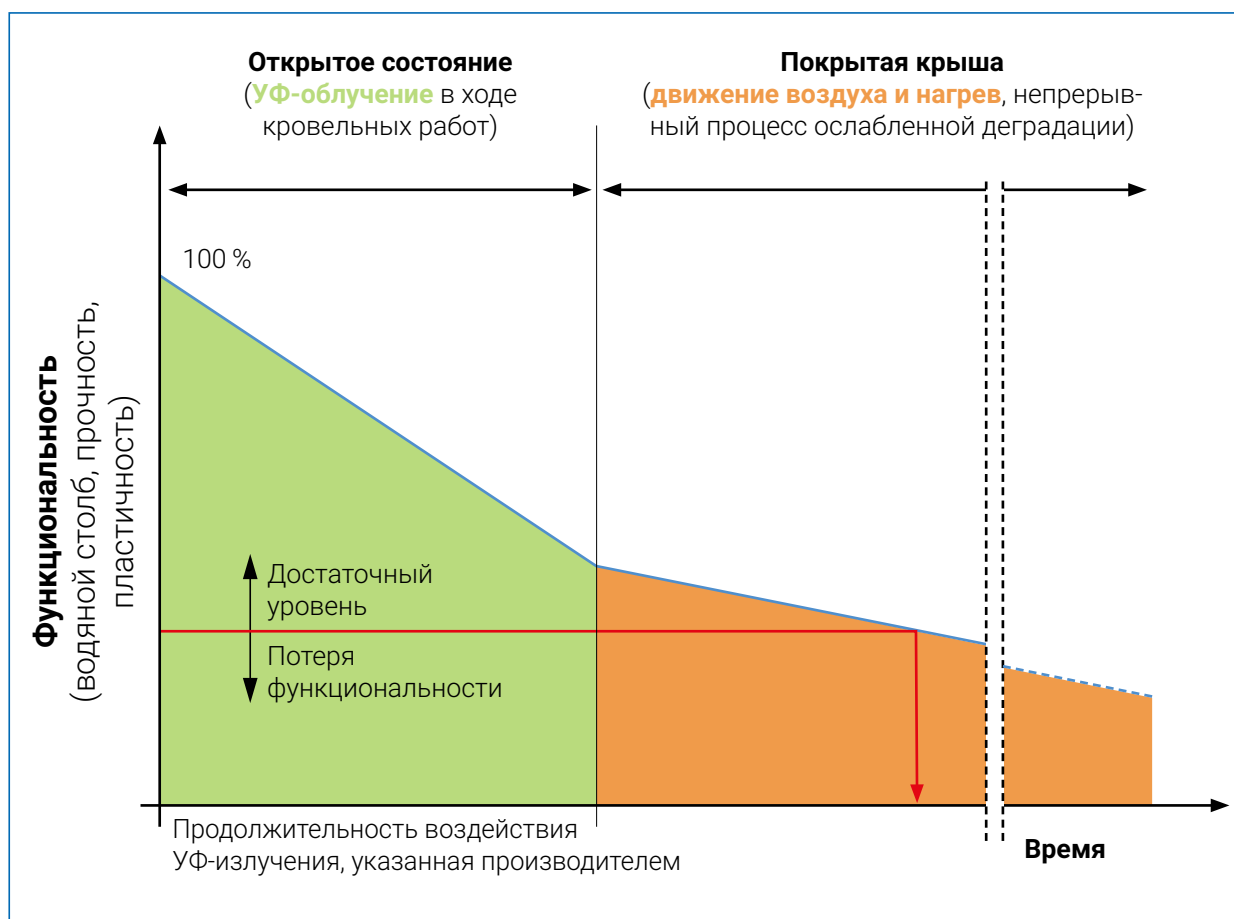


Рис. 4: Основные повреждающие факторы на этапе строительства, а также после покрытия кровли и их влияние на функцию подкровельной мембраны.

В сочетании с кислородом, вышеупомянутые основные повреждающие факторы вызывают автоокисление полимеров (необратимый процесс окисления органических соединений, самопроизвольно протекающий при их взаимодействии с кислородом воздуха):

- На этапе строительства фотоокислительное старение, вызванное УФ-излучением, является основной причиной изменения свойств материала
- После покрытия кровли термоокислительное старение является основной причиной изменения свойств полимеров.

Понимание механизмов повреждения и уменьшения последствий

Фотоокислительное старение на открытом воздухе

Поскольку фотоокислительное старение вызывается УФ-излучением, оно обычно происходит только на этапе строительства до момента укладки кровельного материала. Однако даже короткое время воздействия с высокой интенсивностью излучения, например, в летние месяцы, может привести к значительному последующему повреждению полимеров. По этой причине продолжительность нахождения подкровельной мембраны в открытом виде всегда должна быть как можно короче. Рекомендуется всегда применять укрывные материалы для продления срока службы мембран.

Испытания мембран на срок службы и искусственное старение всегда включают ультрафиолетовое облучение из-за важности этого фактора для старения мембран.

В техническом документе «Воздействие УФ-излучения на подкровельные мембраны» также предлагается более подробная информация по вопросу фотоокислительного старения.



Рис. 5: Различные подкровельные мембраны с повышенной УФ-стабильностью.

Понимание механизмов повреждения и уменьшения последствий



Рис. 6: В закрытом состоянии мембрана защищена от УФ-излучения, но продолжается воздействие тепла и движение воздуха в подкровельном пространстве.

Термоокислительное старение после покрытия кровли

Термоокислительное старение подкровельной мембраны начинается во время строительных работ и продолжается, когда крыша покрыта, и после замещает ультрафиолетовое излучение как основной фактор повреждения во время атмосферного воздействия на открытом воздухе. При термоокислительном старении тепловая энергия отрицательно влияет на мембраны (стандартные плёнки из полиэтилена и полипропилена) в присутствии кислорода. Для моделирования процесса термоокислительной деструкции используются методы испытаний, позволяющие достичь ускоренного старения при более высоких температурах, которые ниже температуры размягчения или плавления.

При воздействии тепловой энергии внутри полимерной матрицы наблюдаются следующие процессы:

- Ускорение всех процессов химического старения (включая окисление)
- Ускорение миграции, например, УФ-стабилизаторов и антиоксидантов. Из-за повышения температуры молекулярные цепи расширяются, и расстояния между молекулярными цепочками становятся больше. В результате может увеличиваться миграция или потеря стабилизаторов из матрицы полимера.

Проблема миграции стабилизаторов относится к мембранам, функциональные слои которых состоят из сшитых пластиков – полипропилена или полиэтилена, но для Акрилата – не актуальны. В отличие от стандартных мембран, эти функциональные слои не требуют дополнительной стабилизации.

Различные повреждающие факторы под черепицей и металлической кровлей

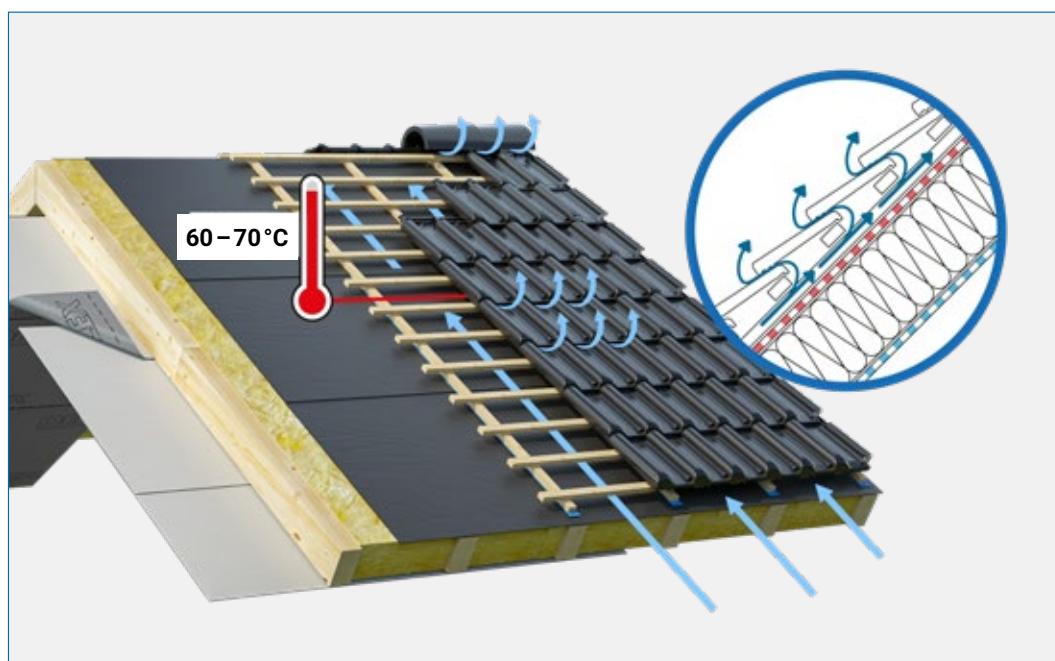
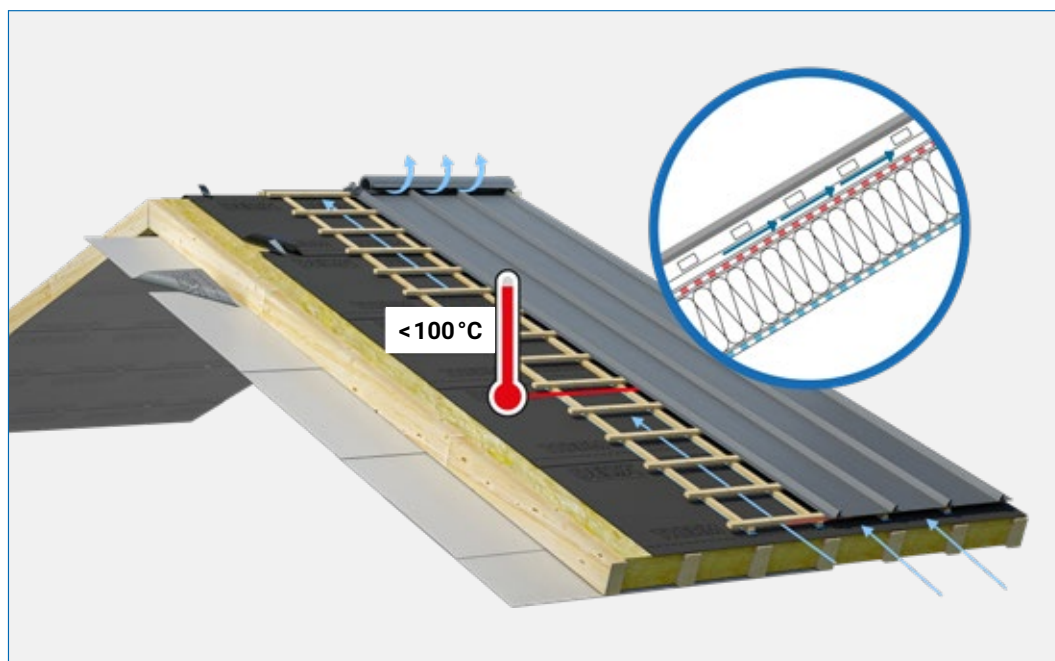


Рис. 7: В зависимости от кровельного материала, длины стропил и подкровельной вентиляции, в воздушном пространстве между мембраной и покрытием возникают разные климатические условия.

Различные повреждающие факторы под черепицей и металлической кровлей



Рис. 8: Различный вес повреждающих факторов – движения воздуха и нагрева – на крышах из черепицы и металлических покрытиях.

На кровлях из черепицы из-за большого количества стыков – при определённых погодных условиях – существует риск того, что снег или дождевая вода будут проникать под кровлю. В случае же крупноформатных металлических покрытий (металлочерепица, клик-фальц, профнастил) высок риск образования конденсата на нижней стороне кровельного материала.

Следовательно, для обоих типов кровельных материалов подкровельная мембрана должна защищать здание от проникновения

влаги в течение всего срока службы крыши. Она должна надежно предотвратить разрушительные последствия воздействия влаги, которые могут варьироваться от снижения эффективности теплоизоляции до ухудшения здоровья жильцов из-за плесени.

Под разными кровельными материалами возникают два основных повреждающих фактора для мембраны: для минеральных малоформатных кровельных материалов основным повреждающим фактором является движение воздуха, а для металлической кровли – тепло.

Различные повреждающие факторы под черепицей и металлической кровлей

Тепло как основной фактор повреждения под металлической кровлей

В зависимости от цвета и фактуры поверхности металла поглощение солнечного излучения очень велико. Кроме того, металлические кровли имеют значительно меньшую массу на единицу площади, чем минеральная черепица, что приводит к меньшей тепловой инерции – металл намного быстрее нагревается и охлаждается. Малоформатная черепица также обеспечивает более эффективную подкровельную вентиляцию за счет большого количества нахлестов на всей поверхности скатов, в то время как при крупноформатной металлической кровле эта вентиляция через поверхность крыши значительно снижается. Если высоту контробрешётки не увеличивать при большой длине стропил, воздухообмен на квадратный метр площади крыши через карнизы и коньковые проемы также уменьшается. Сочетание высокого поглощения теплового излучения, низкой тепловой инерции и пониженной вентиляции приводит к более высокой тепловой нагрузке на мембрану в случае металлической кровли. Однако температуры выше 100 °С не возникают.

Фактическая температура и температура при искусственном старении

Под стандартной черепичной кровлей температура не поднимается выше 60–70 °С. В этом диапазоне, если температура повышается на 10 градусов, старение плёнки ускоряется лишь незначительно. Температуры от 70 до 80 °С при испытаниях на искусственное старение являются достаточными для применений на черепичных кровлях и обеспечивают достаточно большой запас прочности до температуры плавления около 110 °С для мембран на основе полиэтилена. На вентилируемой металлической кровле достигаются значительно более высокие температуры, которые, однако, не превышают 100 °С даже при самых неблагоприятных условиях. В этом более высоком диапазоне температур повышение температуры на 10 градусов с одновременным воздействием кислорода приводит к ускорению термоокислительного старения полимеров. По этой причине для искусственного старения мембран, предназначенных для металлических кровель, требуются значительно более высокие температуры (см. Также раздел «Процессы искусственного старения как основа для прогнозов срока службы»).

Различные повреждающие факторы под черепицей и металлической кровлей

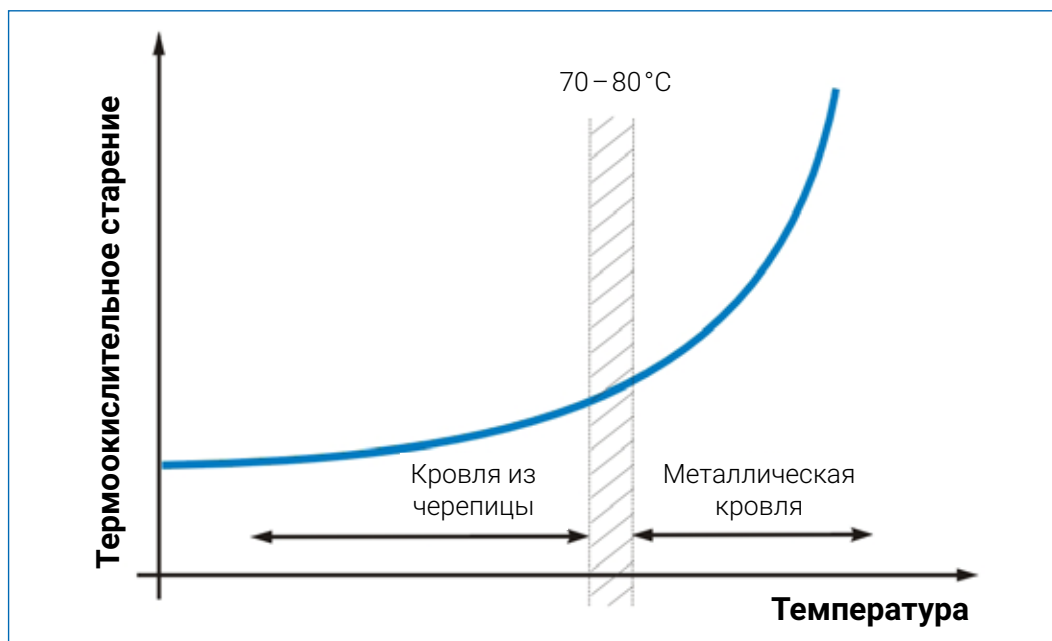


Рис. 9: Температурная зависимость термоокислительного старения: с повышением температуры оно увеличивается экспоненциально.

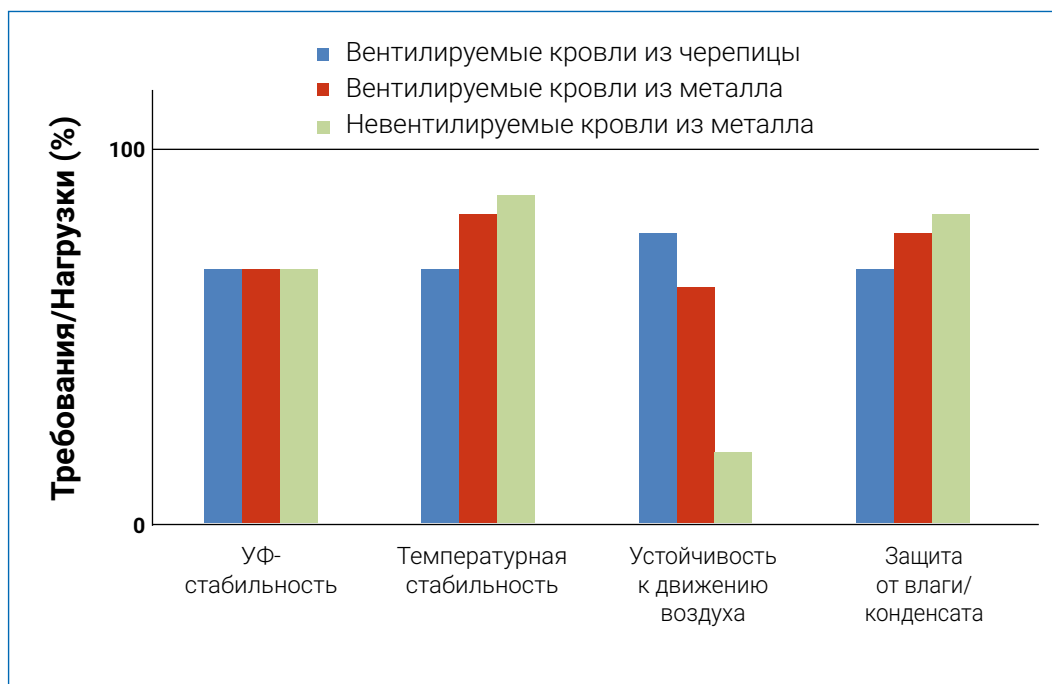


Рис. 10: Требуемая стойкость подкровельных мембран к основным факторам повреждения под разными типами кровли.

Различные повреждающие факторы под черепицей и металлической кровлей

Рис. 11: Конструкции скатных крыш с разными типами кровли



Промежуточное заключение:

→ Мембрана под металлической кровлей (вентилируемой или неventилируемой) подвергается значительно большей термической нагрузке, чем под минеральной черепицей. Как прямое следствие этих более высоких температур, процесс старения полимерного материала ускоряется за счет окисления, что может привести к снижению или даже полной потере его функции.

Почему термостойкая мембрана особенно важна под вентилируемыми металлическими покрытиями?

Металлическая кровля считается более водонепроницаемой, чем кровельные материалы небольшого формата. В этом контексте часто возникает вопрос о значении второго водозащитного слоя под кровлей. При этом упускается из виду, что теплоизлучающие свойства металлической поверхности и низкая тепловая инерция кровли приводят не только к более высоким температурам при воздействии солнечного излучения, но также – особенно в ясные холодные ночи – к значительно более низким температурам из-за теплового излучения.

В результате на обратной стороне металлического покрытия может образовываться большое количество конденсата, который рано или поздно будет стекать на мембрану.

Если количество конденсата невелико и удаление влаги обеспечивается через большие вентиляционные отверстия при достаточной высоте контробрешётки, мембрана все равно должна защищать нижерасположенные слои крыши от переменного воздействия влаги. Долговременная защита здания возможна только в том случае, если используемая подкровельная мембрана гарантирует высокое сопротивление проникновению воды в течение всего срока службы крыши.

Следующие условия могут увеличить количество конденсата:

- Большая длина стропил
- Недостаточная площадь вентиляционных зазоров на коньке/карнизе и на всей площади ската
- Недостаточная вентиляция из-за установки на крыше мансардных окон, труб или дымоходов
- Ухудшение вентиляции в застойных зонах кровель сложной формы (ендовы, межкрышные кюветы, примыкания)
- Низкие уклоны крыши

При наличии отдельных или даже нескольких из упомянутых условий также существует риск стекания большого количества конденсата с металла на мембрану. Поверхность мембраны должна облегчать отвод воды, особенно при низких уклонах крыши. Это свойство не всегда проявляется в мембранах с нетканой поверхностью. В случае DELTA®-THERM поверхность образуется гладким функциональным слоем из акрилата, который также обладает гидрофобными свойствами и не адсорбирует влагу. Эффект лотоса на поверхности полотна обеспечивает надежное и быстрое удаление даже большого количества конденсата.

Рис. 12: На нижней стороне металлического покрытия может образовываться большое количество конденсата. Поэтому мембрана должна постоянно защищать утеплитель и стропила от капающего конденсата.



Различия в поведении при старении термостабильных и стандартных мембран

В конструкциях скатных крыш подкровельные мембраны – в дополнение к собственно кровле – в течение длительного времени берут на себя защитные функции для теплоизоляции и деревянной стропильной конструкции. Поэтому важно с самого начала выбрать оптимальный продукт для соответствующего типа кровли. В случае, если мембрана используется под металлическим покрытием, она должна иметь максимальную термостойкость. Многие стандартные мембраны изначально не обладают ни достаточной УФ-стабильностью, ни достаточной устойчивостью к высоким температурам.

Мембраны могут быть отнесены к различным категориям в зависимости от их устойчивости к повреждающим факторам:

Тип 1: Плёнки с низкой стойкостью к УФ-излучению и высоким температурам: эти материалы должны быть покрыты кровлей или защитны-

ми тентами как можно быстрее. Как правило, они имеют короткий срок службы (например: плёнки на основе полиэтилена/полипропилена с недостаточно стабилизированным микропористым функциональным слоем).
Тип 2: Устойчивые к ультрафиолету мембраны с нормальной устойчивостью к более высоким температурам: несмотря на более длительное воздействие погодных условий, такие мембраны демонстрируют высокую стойкость к старению под черепичной кровлей благодаря использованию особо стабильных функциональных слоев (например, DELTA®-PENTAXX, DELTA®-MAXX PLUS).
Тип 3: Мембраны с высокой устойчивостью к УФ-излучению и более высоким температурам: они обеспечивают более длительные периоды нахождения на открытом воздухе и особенно подходят для использования под металлической кровлей (например, DELTA®-THERM, DELTA®-FOXX PLUS).

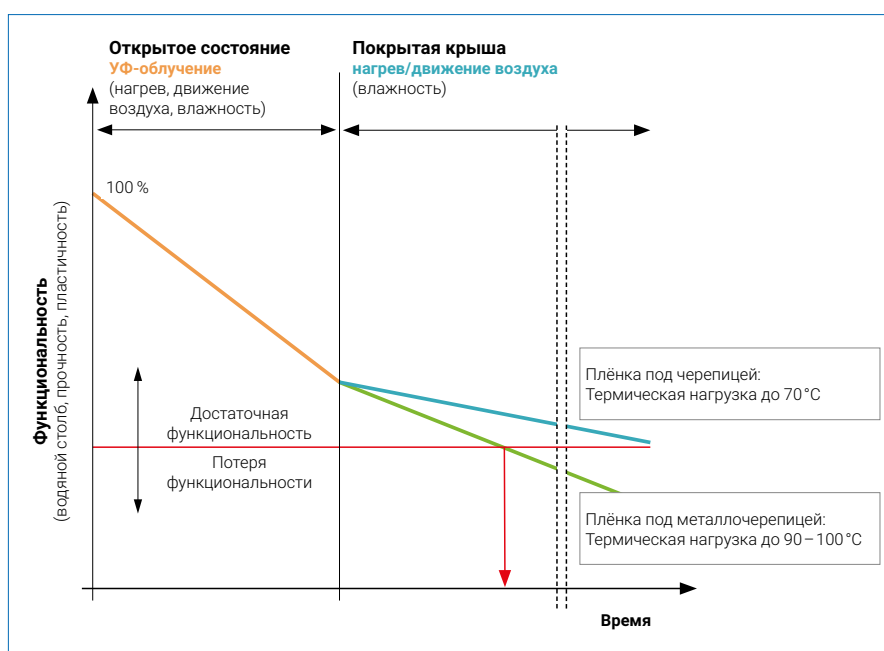


Рис. 13: Работа стандартной мембраны (тип 1) под черепичной или металлической кровлей

Различия в поведении при старении термостабильных и стандартных мембран

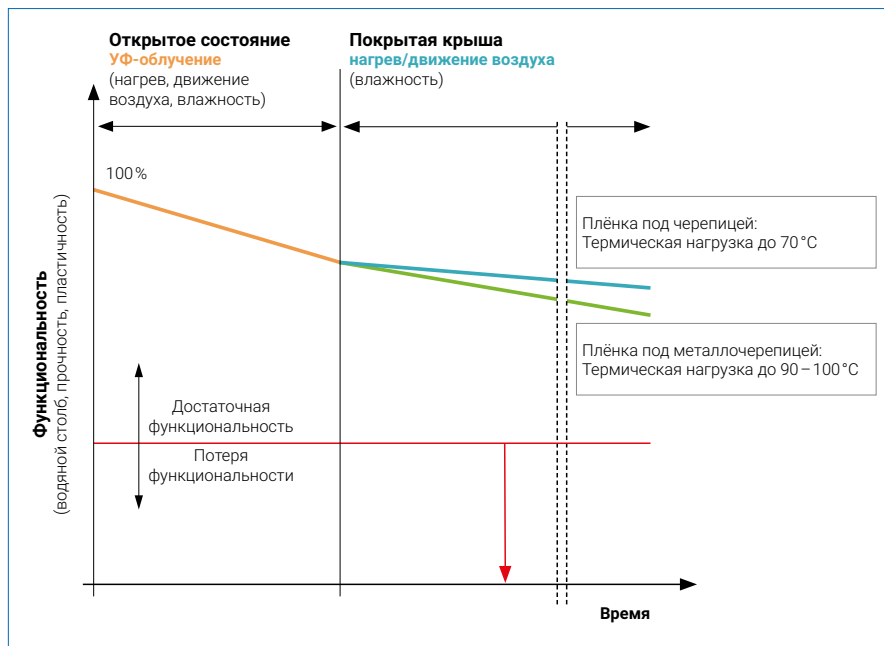


Рис. 14: Работа термостабильной мембраны (тип 3) под черепичной или металлической кровлей

После искусственного старения, когда мембрана DELTA®-THERM выдерживалась в течение 90 дней при температуре 150°C, её прочность на разрыв и водонепроницаемость не изменились. DELTA®-THERM была специально разработана для применения под металлическими кровлями.

Процесс старения мембран	Продолжительность QUV	Продолжительность хранения при нагреве
Стандартное старение согласно EN 13859-1	336 часов QUV при +50°C	90 дней при +70°C
Старение для мембран под металлические покрытия, (методика Dörken согласно EN 13859-1)	1.000 часов QUV при +50°C	90 дней при +150°C

Рис. 15: Различные процессы старения в соответствии или на основе EN 13859-1

Промежуточное заключение:

➔ Для термостойких подкровельных мембран термоокислительное старение значительно менее критично, чем для стандартных мембран (например, из полиэтилена и полипропилена).

Процессы искусственного старения как основа для прогноза срока службы

Чтобы иметь возможность делать заявления о минимальном сроке службы подкровельных мембран, в стандарте EN 13859-1 описан метод искусственного старения. В соответствии с этим методом образцы мембраны должны сначала подвергаться определенному УФ-излучению при температуре от 50 до 53 °C в течение 336 часов, а затем храниться в течение 90 дней или 2.160 часов при температуре 70 °C (± 2 °C). После этого искусственного старения, помимо механических свойств, проверяется сопротивление проникновению воды (в виде водяного столба, помещенного на образец), которое должно соответствовать тому же классу, который был определен перед старением. Продолжительность УФ-излучения соответствует времени воздействия на открытом воздухе около 4 недель в летние месяцы в южной Европе. Поскольку подкровельная мембрана подвергается воздействию ультрафиолетового излучения только до момента покрытия кровлей, этот период

отражает только начальную фазу службы мембраны. Основная же фаза работы мембраны на крыше - в покрытом состоянии - связана с термической нагрузкой и термическим старением. Для процесса искусственного старения предполагается, что повышение температуры на 10 градусов приводит к удвоению скорости химической реакции или старения (см. также правило RGT для правила скорости реакции-температуры или уравнения Аррениуса).

Если в наихудшем сценарии предполагается, что температура до 70 °C под керамической черепицей достигается в течение восьми часов в день в течение четырех месяцев, это приводит к продолжительности общей нагрузки 960 часов (4 летних месяца \times 30 дней \times 8 часов). По сравнению со временем выдержки 2.160 часов при искусственном старении, это даст прогнозируемый срок службы чуть более двух лет. При более реалистичных предположениях получается срок службы от 5 до 10 лет, который «моделируется» с помощью этой методики.

Применение	Реальное старение		Искусственное старение	
	Основной фактор повреждения на фазе строительства	Основной фактор повреждения после покрытия кровли	Испытание на ускоренное старение согласно EN 13859-1	Ускоренный тест старения на срок службы 25 лет
Вентилируемая кровля из черепицы	Ультрафиолет	Сильный воздушный поток при макс. 70 °C	QUV + выдержка в печи при 70 °C без движения воздуха	Тест 1: QUV + выдержка в печи при 70 °C без движения воздуха Тест 2: нагрев в печи при 70 °C под воздействием сильного потока воздуха
Вентилируемая кровля из металла	Ультрафиолет	Умеренный воздушный поток при макс. 100 °C		Тест 1: QUV + выдержка в печи при 70 °C без движения воздуха Тест 2: нагрев в печи при 150 °C без движения воздуха

Рис. 16 Существенные факторы повреждения мембран в реальности и при различных методиках искусственного старения

Процессы искусственного старения как основа для прогноза срока службы

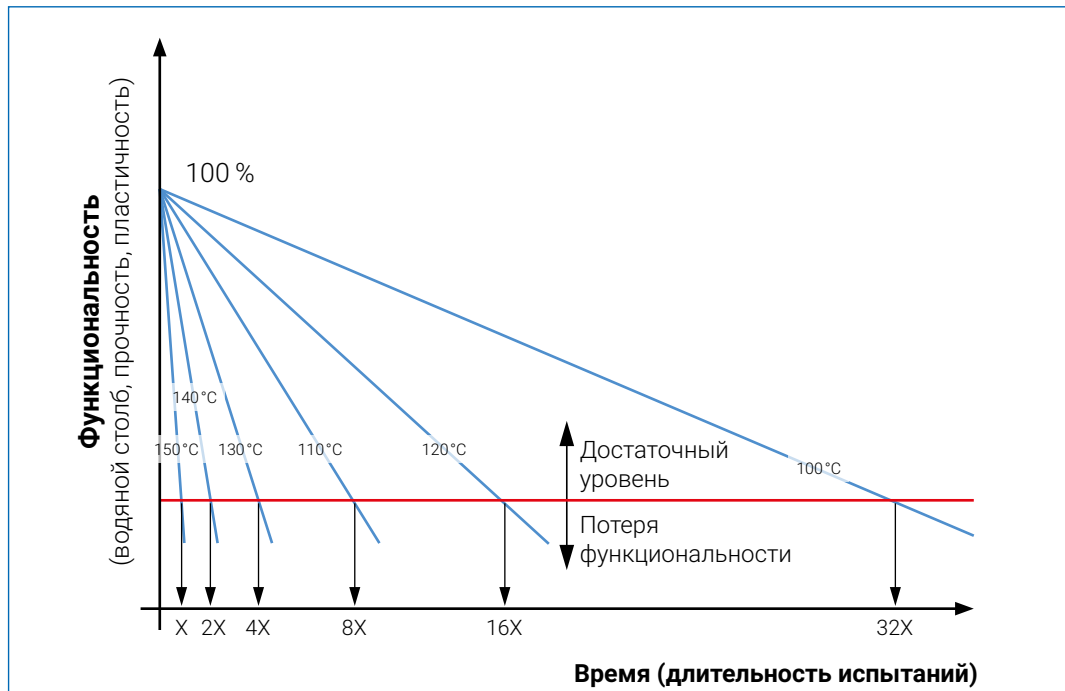


Рис. 17: Влияние продолжительности испытаний при различных температурах на снижение функциональности.

Чтобы подтвердить запланированный срок службы подкровельной мембраны под вентилируемой металлической крышей не менее 25 лет, необходимо увеличить длительность испытаний на старение и / или температуру.

При допущениях наихудшего сценария термической нагрузки, изложенного выше, это приведет к продолжительности воздействия повышенных температур в 24.000 часов (25 лет × 4 летних месяца × 30 дней × 8 часов).

Процессы искусственного старения как основа для прогноза срока службы

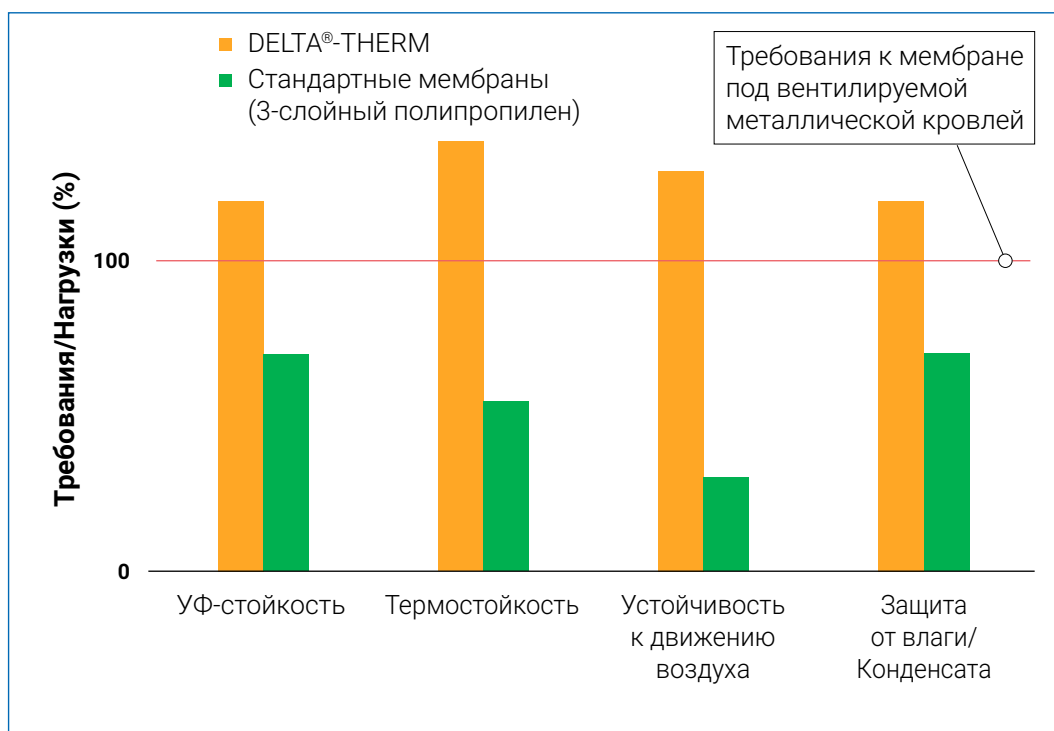


Рис. 18: Стойкость к нагрузкам новой подкровельной мембраны DELTA®-THERM для металлических кровель по сравнению со стандартными мембранами (по отношению к основным повреждающим факторам).

В процессе искусственного старения, использованном для разработки новой мембраны DELTA®-THERM, время воздействия УФ-облучения было первоначально увеличено до 1.000 часов, а температура была увеличена до 150 °C в течение последующих 90 дней хранения в тепле. С учетом правила RGT для выдержки материала под высокой термической нагрузкой получается следующая зависимость:

- 90 дней при +150 °C
- 180 дней при +140 °C
- 360 дней при +130 °C
- 720 дней при +120 °C
- 1.440 дней при +110 °C
- 2.880 дней (69.120 часов) при +100 °C

На фоне того, что в течение запланированного срока службы в 25 лет – даже при самых неблагоприятных условиях – можно предположить повышенную тепловую нагрузку на диффузионную мембрану DELTA®-THERM всего в 24.000 часов, время воздействия 69.120 часов, успешно подтвержденное в этом методе искусственного старения, обеспечивает более чем достаточную безопасность крыши под новой мембраной.

Выводы

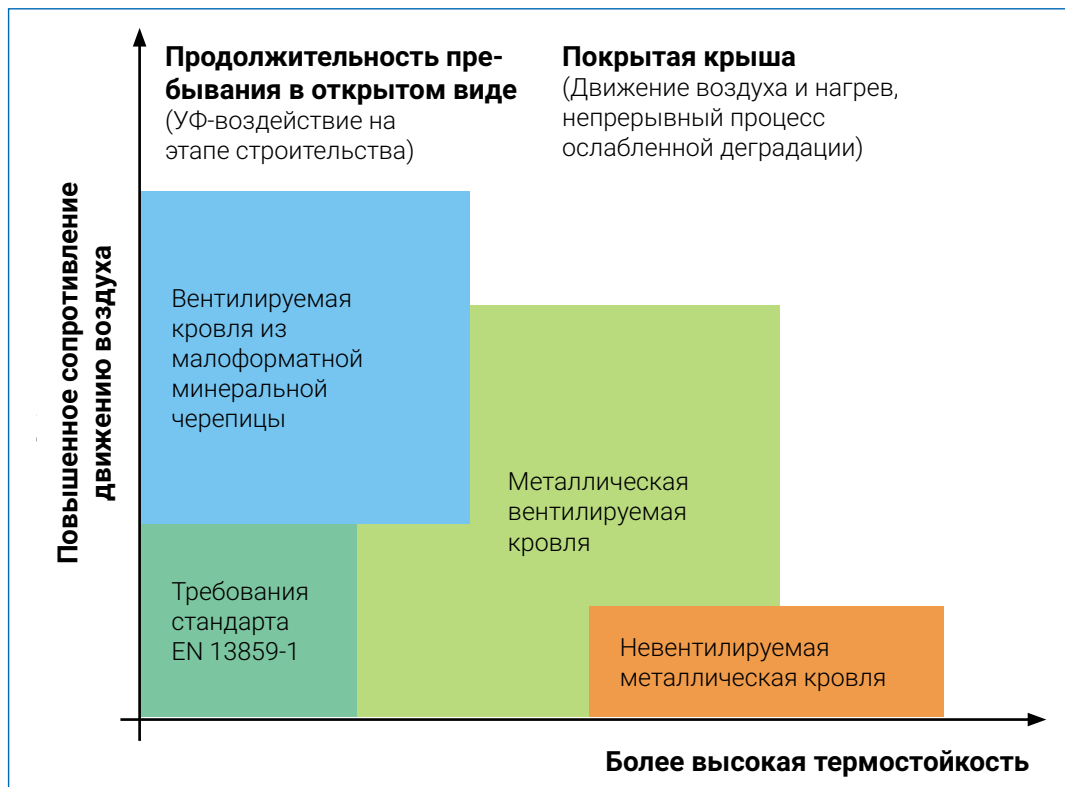


Рис. 19: Требования к подкровельной мембране с разными типами кровли

Из-за меньшего веса на единицу площади и более высоких эмиссионных свойств для теплового излучения, металлическая кровля может остывать намного быстрее, чем минеральная черепица.

В результате на обратной стороне металлического покрытия может образовываться значительно большее количество конденсата, который неизбежно будет капать на подкровельную мембрану. Эта влага должна быть надежно отведена по мембране к карнизному свесу – даже при небольших уклонах кровли.

Выводы

В зависимости от фактуры и цвета поверхности, металлическая кровля также имеет высокий уровень поглощения излучения. При сильном солнечном излучении металлическое покрытие значительно нагревается, что непременно приводит к повышению температуры мембраны. Как и в случае с эмиссией тепла, этот эффект усиливается уменьшенной вентиляцией и низкой тепловой инерцией тонколистного металлического покрытия. Более высокая температурная нагрузка приводит к сильному термоокислительному старению неподходящих подкровельных мембран, что может привести к потере водонепроницаемости и создать угрозу для безопасности всего здания.

Чтобы не допустить попадания конденсата в теплоизоляцию или деревянную стропильную конструкцию в течение всего срока службы металлической кровли, следует использовать подкровельные мембраны, которые надежно выдерживают жёсткие и порой экстремальные условия под металлической кровлей.

Как с точки зрения отвода воды, так и с точки зрения требуемой температурной стабильности гидрофобизированные подкровельные мембраны с гладкой акрилатной поверхностью имеют явные преимущества перед стандартными мембранами на основе полиэтилена или полипропилена с неткаными поверхностями.