



ООО «ПирроГрупп»

Плоские кровли с теплоизоляцией из плит PIRRO®
на основе жесткого пенополиизоцианурата (PIR)
производства компании ПирроГрупп (Россия)

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
эффективности инвестиций

Аннотация

Значительная доля энергетических затрат в Российской Федерации расходуется на отопление жилых зданий. Еще 20 лет назад основное внимание уделялось минимизации капитальных затрат и недостаточно учитывались эксплуатационные затраты ввиду низкой стоимости топлива. Положение резко изменилось в результате значительного роста цен на топливо внутри страны. Были приняты и действуют законодательные акты, в том числе закон «О защите прав потребителя» (1996 г.), Федеральный закон № 261 ФЗ «Об энергосбережении...», направленные на энергосбережение и эффективное использование энергии.

В жизненном цикле здания на стоимость строительства приходится пятая часть общих затрат, остальные расходы - это затраты на эксплуатацию. Очевидно, что уменьшение расходов на эксплуатацию становится ключевым условием в решении задач энергоэффективности.

Реализовать это условие в современной архитектуре и строительстве возможно через совершенствование архитектурно-планировочных решений, применение наружных ограждающих конструкций здания с инновационными теплоизоляционными материалами, внедрением эффективных систем обеспечения микроклимата и энергосбережения, повышением качества проектирования зданий.

Технико-экономическое обоснование ориентировано на профессиональное сообщество проектировщиков, архитекторов, передовых сотрудников строительных организаций и отделов ПТО, использующих современные технологии, заказчиков, застройщиков-инвесторов.

Для наглядности в статье приведены сравнительный анализ для двух вариантов конструктивного исполнения кровли – с применением энергоэффективной теплоизоляции на основе пенополиизоцианурата и с применением минеральной ваты из базальтовых пород на синтетическом связующем, а также расчет простой (бездисконтной) окупаемости сравниваемых конструктивных решений.

1. Объект исследования

В качестве объекта исследования принят фрагмент покрытия, с прогонами по фермам и устройством крыши по профилированному листу.

Пароизоляция: выполняется из полиэтиленовой пленки 200мкм.

Теплоизоляция: **Вариант 1** (в составе системы кровли **PIR-Кровля Эксперт**): пенополиизоциануратная плита **PIR** марки **PirroMembrane** (плотность 32 кг/м³, толщина по расчету).

Вариант 2:

Минвата типа – **ТЕХНОРУФ Н30** (плотность 100-130 кг/м³, толщина по расчету, нижний слой).

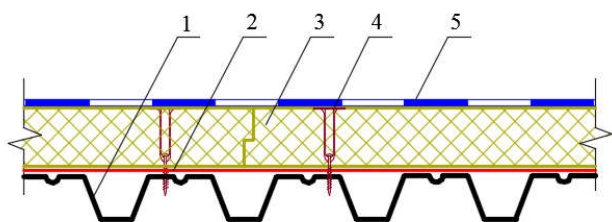
Экструдированный пенополистирол марки **CARBON PROF 300** (плотность 28-35кг/м³, толщина 40мм, верхний слой).

Гидроизоляция: полимерная ПВХ-мембрана типа LOGICROOF марки V-RP толщиной 1,3мм.

Энергоноситель: для отопления в расчете принята электроэнергия.

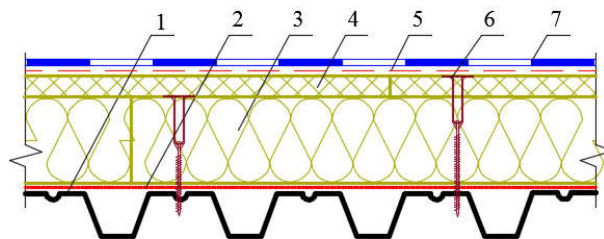
Сечение по кровле представлено на рис.1:

Вариант с PIR-плитой



- 1 – профилированный настил;
- 2 – пленка пароизоляционная;
- 3 – PIR-плита PirroMembrane;
- 4 – телескопический дюбель;
- 5 – ПВХ-мембрана.

Вариант с минватой и ЭППС



- 1 – профилированный настил;
- 2 – пленка пароизоляционная;
- 3 – минеральная вата;
- 4 – экструдированный пенополистирол;
- 5 – разделительный слой (геотекстиль);
- 6 – телескопический дюбель;
- 7 – ПВХ-мембрана.

Рис. 1 Варианты конструкции кровельного пирога с PIR-плитой и с минеральной ватой с пенополистиролом.

2. Исходные данные для расчета

В качестве исходных климатических данных выбраны климатические условия Москвы. Теплофизические показатели вариантов утеплителя представлены в таблице 1. Расчетные климатические и теплоэнергетические параметры приняты согласно СП131.13330 и представлены в таблице 2.

Геометрические характеристики кровли рассматриваемого производственного здания не представлены в связи с тем, что в работе рассчитываются удельные эксплуатационные потери тепловой энергии и капитальные затраты по утеплению, приведенные к 1 м² кровли.

Таблица 1. Теплофизические и механические показатели вариантов утеплителя

Вариант утеплителя	Характеристика материала в сухом состоянии		Расчетное массовое отношение влаги в материале, %, при условиях эксплуатации		Расчетные коэффициенты теплопроводности, Вт/м ² °С при условиях эксплуатации		Прочность на сжатие верхнего слоя, кПа
	Плотность, кг/м ³	Кэф-нт теплопроводности, Вт/м ² °С	А	Б	А	Б	
Минвата типа ТЕХНОРУФ Н30	100-130	0,038	2	5	0,041	0,042	≥30
Экструдированный пенополистирол CARBON PROF 300	28-35	0,029	2	5	0,032	0,032	≥250
PIR-плита PirroMembrane	32	0,021	1	2	0,022	0,023	≥130

Таблица 2. Расчетные климатические параметры

Показатель	Обозначение параметра	Единица измерения	Расчетное значение
Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	t _{от}	°С	-2,5
Продолжительность отопительного периода	z _{от}	сут/год	205
Расчетная температура внутреннего воздуха	t _в	°С	20
Градусо-сутки отопительного периода	ГСОП	°С·сут/год	4551

3. Методика расчета эксплуатационных затрат

Исходя из данных, представленных в таблице 1, рассчитывается базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче наружных ограждающих конструкций.

Значение R_0^{mp} (см. примечание к таблице 3 СП 50.13330) рассчитывается по формуле:

$$R_0^{mp} = a \cdot \text{ГСОП} + b$$

где ГСОП – градусо-сутки отопительного периода (см. данные таблиц 1 и 2);

a, b – коэффициенты, значения которых следует принимать по данным табл. 3 СП 50.13330 для соответствующих групп зданий и конструкций:

для покрытий производственных зданий $a=0,0004, b = 1,6$;

Используя данные таблицы 1, получаем

$$R_0^{mp} = a \cdot \text{ГСОП} + b = 0,0004 \cdot 4551 + 1,6 = 3,42_{\text{м}^2 \text{ °С/Вт}}$$

Рассматривая фрагмент кровли как неоднородную конструкцию с теплопроводными включениями в виде тарельчатых крепежных элементов, понижающих сопротивление теплопередаче, назначаем коэффициент неоднородности g :

-для минваты $g=0,93$ (при размере применяемых в кровле плит 580x1180 мм их крепят на 4 крепежных элемента*, то есть 5,6 шт./м.кв.).

-для PIR-плиты $g=0,94$ (при размере применяемых в кровле плит 1200x2400 мм их крепят на 9 крепежных элементов*, то есть 3,12 шт./м.кв.).

* в обоих случаях количество назначено исходя из конструктивных соображений и при условии, что рассматриваемый фрагмент кровли одинаково нагружен (ветровые нагрузки и др. внешние условия).

Толщина слоя теплоизоляции определяется по формуле Е.6 СП50.13330 с учетом коэффициента теплотехнической неоднородности g :

$$R_0^{усл} = \frac{1}{\alpha_{в}} + \sum_s R_s + \frac{1}{\alpha_{н}},$$

Где $\sum_s R_s$ - сумма термических сопротивлений всех входящих в конструкцию слоев.

При этом условием соблюдения поэлементных требований станет выполнение неравенства:

$$R_0^{усл} \cdot g \geq R_0^{тп}$$

Используя данные, получаем для PIR-плиты:

$$R_0^{ycl} = 1/8,7 + d_{PIR}/\lambda_{PIR} + 1/23 \geq R_0^{mp}/\gamma$$
$$d_{PIR} \geq (3,42/0,94 - 1/8,7 - 1/23) \cdot 0,023 = 0,080 \text{ м}$$

Принимаем в расчете $d_{PIR} = 80 \text{ мм}$.

Для минваты:

$$R_0^{ycl} = 1/8,7 + d_{MB}/\lambda_{MB} + 1/23 \geq R_0^{mp}/\gamma$$
$$d_{MB} \geq (3,42/0,93 - 0,04/0,032 - 1/8,7 - 1/23) \cdot 0,042 = 0,095 \text{ м}$$

Округляем значение толщины плиты до ближайшего типоразмера в большую сторону:

d_{MB} (нижний слой) = **100 мм**.

Корректируем фактическое значение приведенного сопротивления теплопередачи конструкции (с учетом назначенной толщины утеплителя) и коэффициента γ .

Для минваты с ЭППС: $R_{пр(МВ,ЭППС)} = 3,52 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$,

Для PIR-плиты: $R_{пр(PIR)} = 3,42 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$

Рассчитаем значение коэффициента теплопередачи U , Вт/($\text{м}^2 \cdot \text{°C}$), который показывает, сколько Вт тепловой энергии проходит через покрытие площадью 1 м^2 при разности внутренней и наружной температур с разных сторон ограждающей конструкции 1 °C :

$$U = \frac{1}{R_{пр}}$$

Для минваты: $U_{MB} = 0,284 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$,

Для PIR-плиты: $U_{PIR} = 0,292 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$

Для расчета количества тепловой энергии (кВт·ч), проходящей через 1 м^2 кровли, величину U следует умножить на число часов отопительного периода и среднюю за отопительный период разность температур. Эти данные выведены в табл.1. Суммарные годовые потери тепловой энергии через 1 м^2 кровли выражены формулой:

$$Q_{\text{кВт}\cdot\text{ч}} = \frac{U \cdot (t_{в} - t_{от}) \cdot z_{от} \cdot 24}{1000},$$

где $t_{в}$ - температура внутреннего воздуха в помещениях здания, принимаемая по ГОСТ 30494 (назначена в табл.1)

$z_{от}$ – количество суток отопительного периода – 205 суток (табл. 1);

24 – количество часов в сутках;

1000 – переводной коэффициент мощности теплового потока из Вт в кВт.

Данную формулу следует применять для объектов с отоплением от электрической сети. Если к объекту подведена тепловая энергия от городской или районной ТЭЦ, то удобнее пользоваться формулой:

$$Q_{\text{Гкал}} = \frac{U \cdot (t_{в} - t_{от}) \cdot z_{от} \cdot 24}{1000 \cdot 1163}$$

где 1163 – переводной коэффициент из кВт·ч в Гкал.

выражение $(t_{в} - t_{от}) \cdot z_{от}$ - градусо-сутки отопительного периода, согласно СП 50.13330 (сокращенно - ГСОП, указано в табл. 1).

Таким образом, формулы тепловых потерь можно упростить:

$$Q_{\text{кВт}\cdot\text{ч}} = \frac{U \cdot \text{ГСОП} \cdot 24}{1000} = 0,024 \cdot U \cdot \text{ГСОП};$$
$$Q_{\text{Гкал}} = \frac{U \cdot \text{ГСОП} \cdot 24}{1000 \cdot 1163} = \frac{0,024 \cdot U \cdot \text{ГСОП}}{1163}.$$

Для варианта кровли с минватой и ЭППС:

$$Q_{\text{МВ,ЭППС}} = 0,024 \cdot U_{\text{МВ}} \cdot \text{ГСОП} = 0,024 \cdot 0,284 \cdot 4551 = \mathbf{31,02 \text{ кВт}\cdot\text{ч}}$$

Для варианта кровли с PIR-плитой:

$$Q_{\text{PIR}} = 0,024 \cdot U_{\text{PIR}} \cdot \text{ГСОП} = 0,024 \cdot 0,292 \cdot 4551 = \mathbf{31,89 \text{ кВт}\cdot\text{ч}}$$

Следует отметить два момента:

1. величина тепловых потерь напрямую зависит от термического сопротивления конструкции $R_{\text{пр}}$, которое в свою очередь определено назначенной толщиной теплоизоляции. То есть, чем толще по результатам расчета назначен слой утеплителя, тем ниже будут теплопотери.
2. рассчитанные тепловые потери через конструкцию не учитывают изменение теплосберегающих свойств утеплителя со временем, возникающее при потере начальной формы под внешними нагрузками (снеговая, эксплуатационная, потеря прочностных свойств со временем).

В конструктивном решении покрытия с комбинированным утеплением на минеральной вате и экструдированном пенополистироле для минеральной ваты созданы оптимальные условия эксплуатации - она расположена ближе к обогреваемой стороне конструкции, а также не подвергается разрушительному механическому воздействию от внешних факторов (знакопеременных временных нагрузок, точечных нагрузок, вызываемых перемещением по поверхности кровли).

Поэтому корректировки величины тепловых потерь через такую конструкцию (потери обусловлены потерей механических свойств и геометрических размеров минераловатных плит, которые определяют в конечном итоге и их теплофизические свойства) в расчете не принимаются.

4. Методика расчета эксплуатационных затрат

Под эксплуатационными затратами в данной статье принимаем затраты на отопление здания. Для расчета стоимости эксплуатационных затрат (\mathcal{E}) через 1 м^2 площади кровли за один отопительный период величину теплопотерь необходимо умножить на стоимость тепловой или электрической энергии (в зависимости от принятой в здании системы отопления и используемых для отопления источников энергоснабжения):

$$\mathcal{E} = Q \cdot c_T,$$

где Q - суммарные потери тепловой энергии через 1 м^2 кровли;

c_T - величина тарифа, принимаемая:

- руб/Гкал – при централизованном отоплении от городской ТЭЦ;
- руб/кВт·ч – при электрическом теплоснабжении

В нашем расчете с принятой схемой электрического отопления примем среднюю величину тарифов для потребителей (производственных предприятий). По состоянию на 06.2015 года она составляет 3,20 руб/кВт·ч.

Тогда величина эксплуатационных годовых затрат на 1 м² составит:

Для варианта с минватой – $\mathcal{E}_{\text{МВ,ЭППС}}=Q_{\text{МВ,ЭППС}} \cdot C_{\text{T}}=31,02 \cdot 3,20 = 99$ руб. (с округлением до целого)

Для варианта с PIR-плитой – $\mathcal{E}_{\text{PIR}}=Q_{\text{PIR}} \cdot C_{\text{T}}= 31,89 \cdot 3,20 = 102$ руб.(с округлением до целого)

5. Анализ структуры затрат при выборе конструктивного решения

Выбор конструктивного решения проводим на основе метода приведенных затрат. Затраты на капитализацию и эксплуатацию кровельного пирога за расчетный период эксплуатации, приведенные к 1 м² их площади, руб/м², складываются из начальных затрат на строительство К и эксплуатационных затрат Э:

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{МВ,ЭППС}} &= K_{\text{МВ,ЭППС}} + \mathcal{E}_{\text{МВ,ЭППС}} \cdot T_{\text{МВ,ЭППС}} \\ \Pi_{\text{PIR}} &= K_{\text{PIR}} + \mathcal{E}_{\text{PIR}} \cdot T_{\text{PIR}} \end{aligned}$$

где $\mathcal{E}_{\text{МВ,ЭППС}}$, \mathcal{E}_{PIR} – эксплуатационные затраты, учитывающие потери тепловой энергии через 1 м² кровли за один отопительный сезон, руб/м²·год;

$T_{\text{МВ,ЭППС}}$, T_{PIR} – долговечность кровли.

Здесь под долговечностью будем понимать такой срок эксплуатации, при котором потеря изначально заданных проектом расчетных параметров конструктивных слоев кровельного пирога не изменится более чем на 30 % (то есть еще будет экономически целесообразна).

Ввиду того, что все прочие слои кровельного пирога в расчете взяты одинаковые, будем сравнивать долговечность материалов теплоизоляционного слоя.

Для ЭППС* долговечность $T_{\text{МВ,ЭППС}} = 15$ лет эксплуатации,

Для PIR-плиты* $T_{\text{PIR}} = 30$ лет эксплуатации.

* Данные по сроку службы приняты в расчете:

- для основания кровли из PIR-плиты – согласно выводов немецкого института FIW Munich в области исследований и испытаний тепловой изоляции по заказу ассоциации производителей полиуретана в Европе PU EUROPE (PU Europe – Factsheet 16 «Durability of polyurethane insulation products»).

- для основания кровли из ЭППС основываясь на следующих аспектах:

а) мембранные кровли на основе поливинилхлорида (ПВХ) не совместимы со всеми видами полистирольной теплоизоляции и применение разделительного слоя является ключевым условием работоспособности данного конструктивного решения,

б) отсутствуют ГОСТ на методику испытаний по определению условного срока эксплуатации композиций «мембрана ПВХ-ЭППС» в модельной среде,

в) влияние «человеческого» фактора при строительстве,

г) потенциальная возможность смещения полотнищ стеклохолста с образованием незащищенных участков кровли в процессе эксплуатации (при укладке стеклохолста его не фиксируют к основанию по периметру полотнища).

Для PIR-плит разрешается перемещение рабочих по ним в процессе укладки, а также обслуживающего персонала для ежедневной эксплуатации оборудования на крыше и пр. работ. При этом в отличие от волокнистой изоляции, полимерная теплоизоляция не теряет своих механических свойств (PU Europe – Factsheet 3 Repetitive loads on flat roofs - Requirements for the insulation layer).

Капитальные затраты на устройство кровли складываются из затрат на слои пароизоляции, теплоизоляции и гидроизоляции. Стоимости материалов в конструкции кровли представлены в табл. 3 и табл. 4.

Таблица 3. Стоимость 1 м.кв. кровельного пирога для варианта с минватой и экструзионным пенополистиролом.

Конструктивные слои кровли	Ед. изм.	Норма расхода на 1 м.кв.	Стоимость, руб. за ед. изм.	Всего, руб.:
Пароизоляционная пленка 200 мкм	м.кв.	1,1	17	18,7
Минвата типа ТЕХНОРУФ Н 30, 100 мм	м.кв.	1,05	346,8	364,1
Экструдированный пенополистирол типа CARBON PROF 300, 40 мм	м.кв.	1,05	175,2	184,0
Крепеж плиты под толщину 140 мм	шт.	5,6	7,59	42,5
Защитный слой (геотекстиль развесом 100 г/м2)	м.кв.	1,15	17	19,6
ПВХ-мембрана LOGICROOF марки V-RP толщиной 1,3 мм	м.кв.	1,15	375	431,3
Крепеж мембраны под толщину 140 мм	шт.	4	7,59	30,4
Итого K_{МВ}*:				1091

* - с округлением до целого

Таблица 4. Стоимость 1 м.кв. кровельного пирога для варианта с PIR-плитой

Конструктивные слои кровли	Ед. изм.	Норма расхода на 1 м.кв.	Стоимость, руб. за ед. изм.	Всего, руб.:
Пароизоляционная пленка 200 мкм	м.кв.	1,1	17	18,7
PIR-плита марки PiroMembrane 80 мм	м.кв.	1,05	633,0	664,7
Крепеж плиты под толщину 80 мм	шт.	3,12	7,13	22,2
ПВХ-мембрана LOGICROOF марки V-RP толщиной 1,3 мм	м.кв.	1,15	375	431,3
Крепеж мембраны под толщину 80 мм	шт.	4	7,13	28,5
Итого K_{PIR}*:				1108

* - с округлением до целого

Фактическая стоимость работ с применением PIR-изоляции будет ниже аналогичных с экструдированном пенополистиролом и минеральной ватой, так как плиты PIR быстрее укладываются и требуют меньших трудовых затрат рабочих. В запас расчета эту разницу брать не будем и исходим из условия равенства фактических расценок за единицы работ в натуральном выражении (за м.кв. утеплителя, за м.кв. пароизоляции и т.п.).

Тогда приведенные затраты составят:

Для варианта с минватой и ЭППС:

$$П_{МВ,ЭППС} = K_{МВ,ЭППС} + Э_{МВ,ЭППС} \cdot T_{МВ,ЭППС} = 1091 + 99 \times 15 = 2576 \text{ руб. на 15 лет эксплуатации}$$

Для варианта с PIR-плитой:

$$П_{PIR} = K_{PIR} + Э_{PIR} \cdot T_{PIR} = 1108 + 102 \times 30 = 4168 \text{ руб. на 30 лет эксплуатации}$$

Для инвесторов и эксплуатирующих организаций наиболее интересным будет являться сравнение удельных показателей приведенных капитальных затрат на метр квадратный конструкции к году эксплуатации, который можно рассчитать по формуле:

$$П^1 = \frac{П}{T}, \text{ руб.}$$

Тогда для решения на минеральной вате затраты составят:

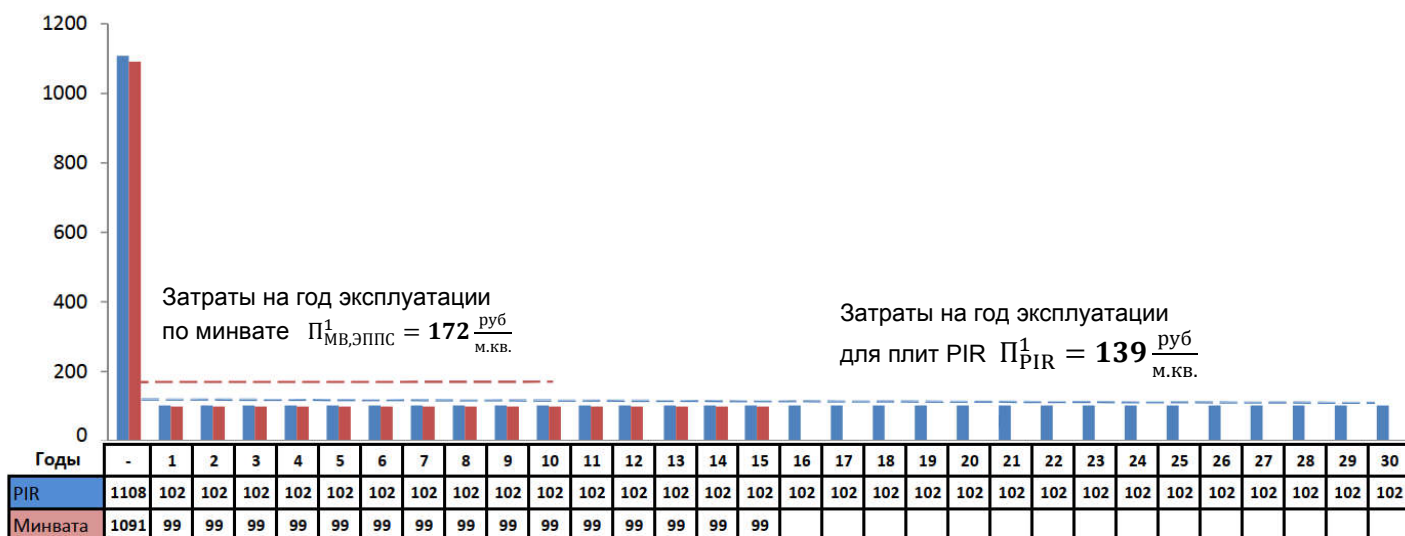
$$\Pi_{\text{МВ}}^1 = \frac{\Pi_{\text{МВ,ЭППС}}}{T_{\text{МВ,ЭППС}}} = \frac{2576}{15} = \mathbf{172 \text{ руб.}}$$

Тогда для решения на PIR-плите затраты составят:

$$\Pi_{\text{PIR}}^1 = \frac{\Pi_{\text{PIR}}}{T_{\text{PIR}}} = \frac{4168}{30} = \mathbf{139 \text{ руб.}}$$

Наглядно динамику распределения приведенных затрат на строительство и эксплуатацию конструкции при сравнении вариантов утепления PIR-плитами и минеральной ватой можно увидеть на графике:

Затраты, руб./м.кв.



Данные значения изображены на графике горизонтальными линиями и подтверждают, что кровельная конструкция с применением теплоизоляции из PIR-плит является экономически обоснованной.

По окончании расчетного срока службы материала возникает потребность в его замене. На графике начало данных работ попадает на 16 год эксплуатации строительного объекта - для ЭППС+МВ и на 31 год эксплуатации строительного объекта – для PIR-изоляции.

Согласно приведенных расчетов стоимость конструкции кровельного пирога с применением термоизоляционных плит **PirroMembrane** в составе системы кровли PIR-Кровля Эксперт составляет **1108 руб./м.кв.**, что несущественно превышает стоимость материалов для варианта с минеральной ватой (всего на 1,5 %).

При этом с учетом срока эксплуатации кровельной конструкции совокупные затраты (на строительство + затраты на отопление), приведенные к году эксплуатации с применением **PIR-плит PirroMembrane** в составе системы кровли PIR-Кровля Эксперт составят **139 руб./м.кв.**, что на **33 руб./м.кв. меньше**, чем для решения с минеральной ватой и экструдированным пенополистиролом (на **19 %**).

6. Дополнительные преимущества

PIR-изоляция обладает рядом других преимуществ, которые определяются ее теплофизическими и механическими свойствами. Эти свойства также обуславливают экономические выгоды применения плит, но не учтены в представленном расчете:

- **Низкая плотность PIR.** В конструкциях крыш с профнастилом минеральная вата составляет до 55 % от общего веса конструкции крыши, включая вес несущих элементов, при использовании PIR-плиты на долю утеплителя приходится до 11 %. Таким образом, применение PIR-плит дает сокращение нагрузки на каркас здания и обеспечивает снижение металлоемкости проектируемых несущих конструкций (для минваты ее доля в весе всего здания с учетом снеговых нагрузок достигает до 9 %, для PIR-изоляции она уменьшается до 1 %).

- **Скорость строительства.** Типоразмеры плит PIR для крыш 2400x1200 мм, низкий вес и отсутствие разделительного слоя увеличивают производительность и сокращают сроки строительства. Так, для кровли площадью 10 тысяч м.кв. сроки устройства кровли сократятся на 2 недели.

- **Всепогодность.** Отсутствие в составе крыши минеральной ваты положительно сказывается на качестве работ в сырое время года и минимизирует дополнительные работы при выполнении основных операций.

- **Низкая теплопроводность PIR-плит.** Обуславливает минимальную толщину теплоизоляционного слоя, что означает меньший его объем для транспортировки, для подъема и монтажа. Так, для кровли площадью 10 тысяч м.кв. для перевозки PIR-плит потребуется на 70 % меньше автомашин, нежели при перевозке минеральной ваты.

7. Заключение

В статье произведен сравнительный анализ конструктивного решения кровельного пирога производственного здания на основе двух видов теплоизоляционных материалов – минеральной ваты и PIR-плиты на основе полиизоцианурата; представлены расчеты, обосновывающие экономическую целесообразность при принятии решения в пользу энергоэффективной PIR теплоизоляции.

На основе статьи можно сделать следующие выводы:

1. Эксплуатационные затраты (затраты на отопление) не привязаны к типу утеплителя при подборе толщины по нормируемой методике, при этом они зависят от его назначенной толщины.
2. Срок службы материалов, образующих ограждающую конструкцию, и заданные на этапе проектирования теплоэнергетические показатели должны быть сопоставимы. Минеральная вата не обеспечивает достаточную долговечность и надежность конструкции для решений с кровельным ковром на основе битумно-полимерных, и особенно, более долговечных полимерных материалов, укладываемым поверх теплоизоляционного материала.
3. Применение PIR-изоляции в ограждающих конструкциях крыш зданий позволяет повысить качество проектных решений и минимизировать капитальные затраты для инвестора, заказчика, увеличить межремонтный интервал конструкций для эксплуатирующих организаций.