



ООО «ПирроГрупп»

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

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
эффективности инвестиций

при применении
системы неэксплуатируемой крыши

PIR-КРОВЛЯ СМАРТ

Аннотация

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.

В обосновании приведен сравнительный анализ двух вариантов конструктивного исполнения кровли – с применением энергоэффективной пенополиизоциануратной теплоизоляции PIR на основе пенополиуретана и с применением минеральной ваты на основе базальта, а также расчет простой (бездисконтной) окупаемости сравниваемых конструктивных решений.

В тексте даются ссылки на исследования европейских институтов в области теплоизоляции, в частности, на исследование «Изменения состояния изоляционных материалов из минеральной ваты в результате воздействия влаги на примере плоской кровли» (1), подготовленное Аахенским институтом строительных браков и прикладной строительной физики совместно с Научно-исследовательским институтом теплоизоляционных материалов FIW (Германия), которое позволяет оценить воздействие влаги на прочность (долговечность) и теплопроводность минеральной изоляции.

1. Объект анализа

В качестве объекта исследования принят фрагмент кровли одноэтажного здания производственного назначения, с прогонами по фермам, устройством крыши по профилированному листу.

Пароизоляция: выполняется из полиэтиленовой пленки 200мкм.

Теплоизоляция: **Вариант 1:** система крыши PIR-Кровля Смарт, в составе Минвата **ИЗОРУФ-НЛ*** (плотность 115 кг/м³, толщина 50мм, нижний слой) как вариант, **PIR-плита** марки **PirroMembrane** (плотность 32 кг/м³, толщина по расчету, верхний слой).

* - возможно применение минваты производства **Rockwool**.

Вариант 2:

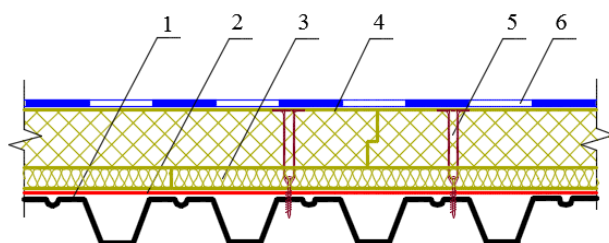
Минвата **РУФ БАТТС Н ЭКСТРА** (плотность 130 кг/м³, толщина по расчету, нижний слой). Минвата **РУФ БАТТС В ЭКСТРА** (плотность 190кг/м³, толщина 40мм, верхний слой).

Гидроизоляция: полимерная ПВХ-мембрана PLASTFOIL Classic 1,5мм.

Энергоноситель: для отопления в расчете принята электроэнергия.

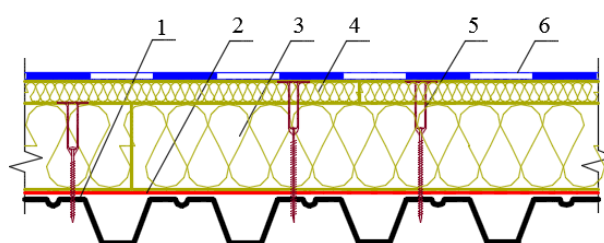
Сечение по кровле представлено на рис.1:

Вариант с PIR-плитой и минватой



- 1 - профилированный настил;
- 2 - пленка пароизоляционная;
- 3 - минеральная вата 50мм нижнего слоя;
- 4 - PIR-плита PirroMembrane;
- 5 - телескопический дюбель;
- 6 - ПВХ-мембрана.

Вариант с плитами из минваты в 2 слоя



- 1 - профилированный настил;
- 2 - пленка пароизоляционная;
- 3 - минеральная вата 50мм нижнего слоя;
- 4 - минеральная вата 50мм верхнего слоя;
- 5 - телескопический дюбель;
- 6 - ПВХ-мембрана.

Рис. 1 Варианты конструкции кровельного пирога для PIR-плиты и минеральной ваты

2. Исходные данные для расчета

В качестве исходных климатических данных для проектирования выбраны климатические условия г. Дмитров.

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°С при условиях эксплуатации		Прочность на сжатие верхнего слоя, кПа
	Плотность, кг/м ³	Коэф-нт теплопроводности, Вт/м°С	А	Б	А	Б	
Минвата РУФ БАТТС Н ЭКСТРА	115	0,039	2	5	0,041	0,042	≥45
Минвата РУФ БАТТС В ЭКСТРА	190	0,041	2	5	0,043	0,044	≥80
BASWOOL РУФ Н-100	115	0,038	2	5	0,040	0,042	≥35
PIR-плита PiroMembrane	31	0,021	1	2	0,022	0,023	≥140

Таблица 2. Расчетные условия для зданий, расположенных на территории Москвы и Московской области.

Показатель	Обозначение параметра	Единица измерения	Расчетное значение
Расчетная температура наружного воздуха	t _n	°С	-28
Средняя температура наружного воздуха за отопительный период	t _{от}	°С	-3,1
Продолжительность отопительного периода	z _{от}	сут/год	216
Расчетная температура внутреннего воздуха	t _в	°С	22
Градусо-сутки отопительного периода	ГСОП	°С·сут/год	5422

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:

$$R_0^{mp} = a \cdot ГСОП + b$$

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:

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

$$R_0^{усл} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_s R_s + \frac{1}{\alpha_H},$$

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

При этом условием соблюдения поэлементных требований станет выполнение неравенства:

$$R_0^{усл} \geq R_0^{тп}$$

По результатам теплотехнических расчетов обоих вариантов исполнения теплоизоляционного слоя получаем:

Варианты	Нижний слой	Верхний слой
Вариант 1	Минвата РУФ БАТТС Н ЭКСТРА	Минвата РУФ БАТТС В ЭКСТРА
	90 мм	40 мм
Вариант 2	BASWOOL РУФ Н-100	PIR-плита PiroMembrane
	50 мм	40 мм

Расчетные значения приведенного сопротивления теплопередачи конструкции (с учетом назначенной толщины утеплителя) и коэффициента g :

Для кровельной конструкции с 2 слоями минваты: $R_{пр(МВ)} = 3,02 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$,

Для кровельной конструкции с PIR-плитой: $R_{пр(PIR)} = 2,90 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$

Рассчитаем значение коэффициента теплопередачи U , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$, 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 :

$$U = \frac{1}{R_{пр}}$$

Вар.1

$U_{МВ} = 0,331 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$,

Вар.2 Для PIR-плиты

$U_{PIR} = 0,345 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$

Для расчета количества тепловой энергии (кВт·ч), проходящей через 1 м² 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 м² кровли выражены формулой:

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

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

$z_{\text{от}}$ – количество суток отопительного периода, принимаемой для жилых зданий, расположенных на территории Московской области – 205суток;

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:

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

1163 – переводной коэффициент из кВт·ч в Гкал.

выражение $(t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot z_{\text{от}}$ - 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 1

$$Q_{\text{МВ}} = 0,024 \cdot U_{\text{МВ}} \cdot \text{ГСОП} = 0,024 \cdot 0,331 \cdot 5422 = \mathbf{43,1 \text{ кВт}\cdot\text{ч}}$$

Для варианта 2 с PIR-плитой

$$Q_{\text{PIR}} = 0,024 \cdot U_{\text{PIR}} \cdot \text{ГСОП} = 0,024 \cdot 0,345 \cdot 5422 = \mathbf{44,9 \text{ кВт}\cdot\text{ч}}$$

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 связи с этим для корректности дальнейшего расчета следует принять корректировку величины теплопотерь через минеральную вату.

Вода попадает в теплоизоляционный слой через в виде протечек атмосферной влаги и через прорывы и неплотности в пароизоляционном слое.

Водяные пары в силу разницы парциальных давлений снаружи и внутри помещения стремятся выйти в зону пониженного парциального давления. Так, в зимнее время водяные пары стремятся в сторону улицы, летом – наоборот. Водяной пар внутри утеплителя находится в состоянии диффузии. Структура минеральной ваты способствует его

перемещению на всю толщину. В пограничных слоях (на границе со слоем гидро- и пароизоляции), имеющих пониженную температуру, водяной пар охлаждается и конденсирует, образуя водные резервуары. В случае отрицательных температур конденсат под гидроизоляцией замерзает.

Согласно результатам исследования (1), в нем сделаны следующие выводы:

1. Минеральная вата как утеплитель способна накапливать влагу.
2. Тепловые потери через минеральную вату следует рассматривать не только по показателю теплопроводности, но и с учетом переноса тепла в результате влагопередачи во влажном материале.
3. При воздействии влаги устойчивость минераловатных изоляционных плит в условиях сжатия 10% значительно снижается (согласно проведенных испытаний, прочность образцов во влажном состоянии уменьшается на 25-50% от начальной в сухом состоянии).
4. В отличие от изоляционных пеноматериалов, структура которых терпит лишь незначительные изменения при гораздо более сильном воздействии влаги, изоляционные материалы из минеральной ваты намного более чувствительны к внешним условиям. При сильном давлении на минеральную вату происходит разрушение ее волокон и связей между ними, что приводит к необратимому уплотнению волокнистой структуры. Ввиду этого, данный материал может выдержать лишь ограниченное количество нагрузок

Данные выводы следует распространить на усредненные затраты на теплотери
Для корреляции теплотерь принимаем в расчете среднее значение теплотерь за весь расчетный период эксплуатации при изменении теплопроводных свойств минваты до 30%:
 $Q_{MB(\Phi)} = (Q_{MB} + Q_{MB30})/2 = (43,1 + 43,1 \cdot 1,3)/2 = 49,6 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$

4. Методика расчета эксплуатационных затрат

Под эксплуатационными затратами в данной статье принимаем затраты на отопление здания. Для расчета стоимости эксплуатационных затрат (Э) через 1 м² площади кровли за один отопительный период величину теплотерь необходимо умножить на стоимость тепловой или электрической энергии (в зависимости от принятой в здании системы отопления и используемых для отопления источников энергоснабжения):

$$\text{Э} = Q \cdot c_T,$$

где Q - суммарные потери тепловой энергии через 1 м² 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 1 – Э_{MB} = Q_{MB} c_T = 49,6 · 3,20 = 159 руб. (с округлением до целого)

Для варианта 2 с PIR-плитой – Э_{PIR} = Q_{PIR} c_T = 44,9 · 3,20 = 144 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 K и эксплуатационных затрат Э:

$$\begin{aligned} \Pi_{\text{MB}} &= K_{\text{MB}} + \Theta_{\text{MB}} \cdot T_{\text{MB}} \\ \Pi_{\text{PIR}} &= K_{\text{PIR}} + \Theta_{\text{PIR}} \cdot T_{\text{PIR}} \end{aligned}$$

где Θ_{MB} , Θ_{PIR} – эксплуатационные затраты, учитывающие потери тепловой энергии через 1 м² кровли за один отопительный сезон, руб/м²·год;

T_{MB} , 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 целесообразно).

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

Для минваты* долговечность $T_{\text{MB}} = 10$ лет эксплуатации,

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

Данные по сроку службы приняты на основе:

- материалов исследований (1) – для минеральной ваты
- для PIR-плиты – немецким институтом 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 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, PIR-изоляция не теряет своих теплофизических и 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.

Табл.3 Стоимость 1 м.кв. кровельного пирога для варианта 1

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	13,0	14,3
Минвата РУФ БАТТС Н ЭКСТРА, 90 мм	м.кв.	1,05	465,3	488,6
Минвата РУФ БАТТС В ЭКСТРА, 40 мм	м.кв.	1,05	321,4	337,5
Крепеж утеплителя под толщину 130 мм	шт.	5,6	7,97	44,6
ПВХ-мембрана PLASTFOIL Classic 1,5 мм	м.кв.	1,15	325	373,8
Крепеж мембраны под толщину 130 мм	шт.	4	7,97	31,9
			Итого K_{MB}^*:	1291

* - с округлением до целого

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

Конструктивные слои кровли	Ед. изм.	Норма расхода на 1м.кв.	Стоимость, руб. за ед.изм.	Всего, руб.:
Пароизоляционная пленка 200 мкм	м.кв.	1,1	13,0	14,3
Минвата BASWOOL РУФ Н-100, 50 мм	м.кв.	1,05	156,8	164,4
PIR-плита марки PirroMembrane, 40 мм	м.кв.	1,05	458	480,9
Крепеж плиты под толщину 90 мм	шт.	3,12	5,9	18,4
ПВХ-мембрана PLASTFOIL Classic 1,5 мм	м.кв.	1,15	325	373,8
Крепеж мембраны под толщину 90 мм	шт.	4	5,9	23,6
			Итого K _{PIR} *:	1076

* - с округлением до целого

Примечание: фактическая стоимость работ с применением PIR-изоляции будет ниже аналогичных с 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 1:

$$П_{МВ} = K_{МВ} + Э_{МВ} \cdot T_{МВ} = 1291 + 159 \times 10 = 2881 \text{ руб. на 10 лет эксплуатации}$$

Для варианта 2 с PIR-плитой:

$$П_{PIR} = K_{PIR} + Э_{PIR} \cdot T_{PIR} = 1076 + 144 \times 30 = 5396 \text{ руб. на 30 лет эксплуатации}$$

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:

$$П^1 = \frac{П}{T}, \text{ руб.}$$

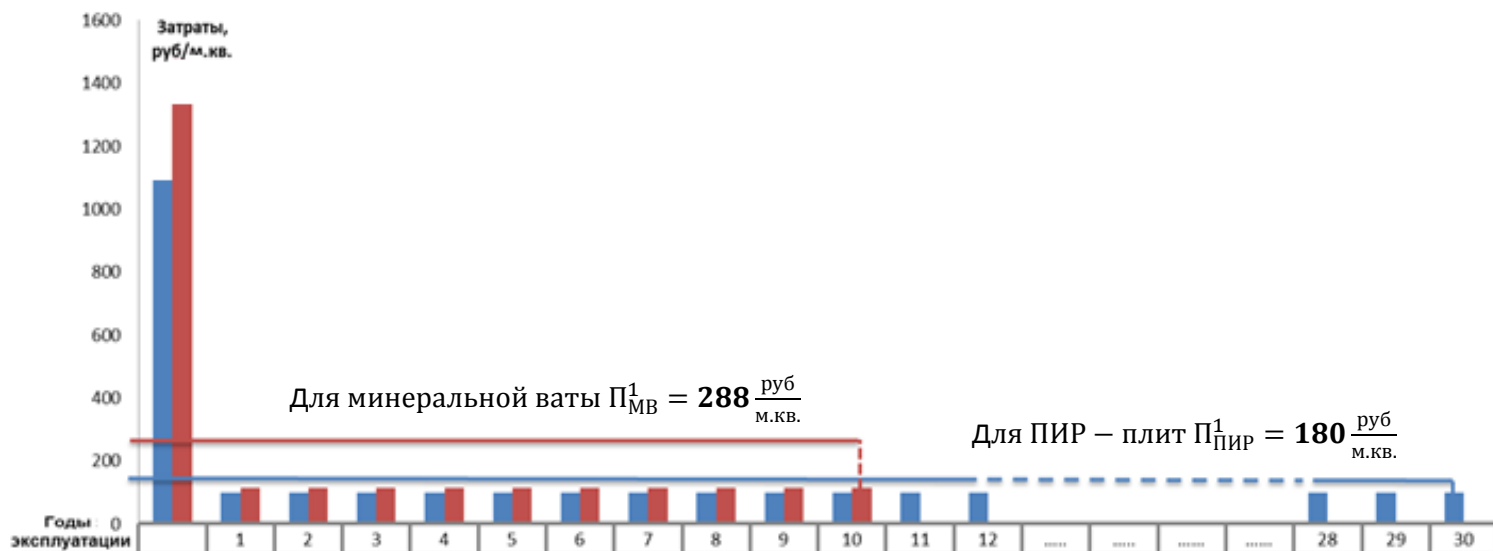
Тогда для варианта 1:

$$П_{МВ}^1 = \frac{П_{МВ}}{T_{МВ}} = \frac{2881}{10} = \mathbf{288} \text{ руб. на 1 м. кв. в год (с округлением до целого)}$$

Тогда для варианта 2 на PIR-плите:

$$П_{PIR}^1 = \frac{П_{PIR}}{T_{PIR}} = \frac{5396}{30} = \mathbf{180} \text{ руб. на 1 м. кв. в год (с округлением до целого)}$$

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



6. Выводы

Согласно приведенных в технико-экономическом обосновании расчетов стоимость конструкции кровельного пирога варианта 2 с применением термоизоляционных плит **PirgoMembrane составляет 1076 руб./м.кв., что на 215 руб./м.кв. ниже, чем для варианта 1 с минеральной ватой (на 17 %).**

При этом с учетом срока эксплуатации кровельной конструкции совокупные затраты (на строительство + затраты на отопление), приведенные к году эксплуатации, для кровельной конструкции с применением **PIR-плит PirgoMembrane составят 180 руб./м.кв., что на 108 руб./м.кв. меньше, чем для решения с минеральной ватой (на 38 %).**

7. Дополнительные преимущества

PIR-изоляция обладает рядом других преимуществ, не учтенных в расчете:

-Низкая плотность материала PIR-плит. 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 для крыш 2400x1200 мм, низкий вес и меньшее количество точек крепления на метр квадратный увеличивают производительность и сокращают сроки строительства. Так, для кровли площадью 10тысяч м.кв. сроки устройства кровли сократятся на 2 недели.

-Всепогодность. Данный тип изоляции рекомендуется к применению в сырое время года (влага легко удаляется с поверхности облицовки).

-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.