УДК 691.175.746

# Подбор оптимального утеплителя плоской кровли школы в г.Биробиджан

*Канделя Михаил Васильевич*
*Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема*
*к.т.н., профессор*

*Попов Андрей Сергеевич*
*Приамурский государственный университет имени Шолом-Алейхема*
*Студент*

**Аннотация**
Рассматривается выбор утеплителя между материалом пэноплекс и пенопластом для уменьшения затрат на утепления кровель. Для этого производится теплотехнический расчет с применением обоих материалов и выбирается наиболее оптимальный вариант исходя из расчета, стоимости и свойств материалов.
**Ключевые слова**: кровля, пэноплекс, пенопласт, пенополистирол, пенополиуретан, ППС, ПСБ-С.

## Selection of the optimal insulation of a flat roof of a school in Birobidzhan

*Kandelja Mihail Vasil'evich*
*Priamursky state University the name of Sholom-Aleichem*
*Ph. D. Professor*

*Popov Andrej Sergeevich*
*Priamursky state University the name of Sholom-Aleichem*
*Student*

**Abstract**
Discusses the choice of insulation material between the polystyrene foam and to reduce the cost of roofs.
This involves thermal design of both materials and select the most optimal variant on the basis of calculation, cash and material properties.
**Keywords:** roofing, polystyrene, foam, polystyrene, polyurethane, PPS, PSB-S.

Подбор утеплителя для плоской рулонной кровли производился с учетом требований:

СП 17.13330.2011 Кровли.
СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий.
СП 131.13330.2012 Строительная климатология.
СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий.

Актуальность исследования заключается в необходимости выбора наиболее экономичного и надежного утеплителя для кровли между пенопластом ПСБ-С 35 и «ПЭНОПЛЕКС Кровля» (Тип 35).

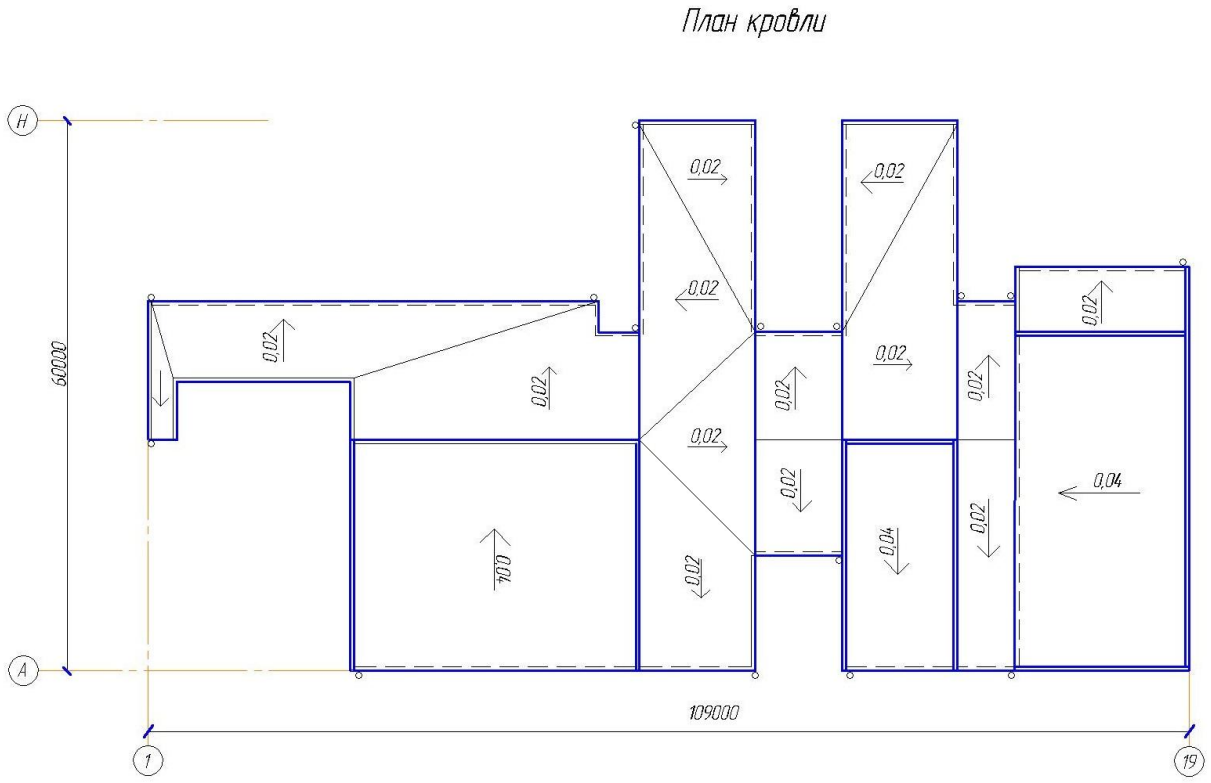


Рисунок 1 - Схема кровли школы

Перед тем как произвести теплотехнические расчеты необходимо рассмотреть особенности и характеристики каждого из представленных в данной работе материалов.

Начнем наше знакомство с теплоизолирующими материалами с пенопласта ПСБ-С 35. Данная марка пенопласта применяется для утепления кровель общественных зданий, промышленных полов, полов складских комплексов, автопаркингов, автостоянок, для устройства температурного шва, то есть, в тех местах, где необходима высокая прочность материала.

Технические характеристики:

Плотность: 25,1-26 кг/м.

Коэффициент теплопроводности: 0,036 Вт/м*К при 25±5$^0$С в сухом состоянии

Прочность на сжатие при 10% деформации: 0,16 МПа, что равняется 160 кг/м.

Водопоглощение: не более 2% по объему за 24 часа.

Влажность плит: 2%.

Время горения: не более 4 секунд.

Предел прочности: не меньше 0,25 МПа.

Далее рассмотрим теплоизоляционный материал экструдированный пенополистирол Пэноплекс 35 Кровля. Данный материал предназначен для

теплоизоляции ограждающих конструкций зданий и сооружений, а также утепления плоских кровель. При изготовлении утеплителя для штукатурных фасадов в исходное сырье вводится эффективный антипирен с запатентованной предприятием добавкой, что существенно повышает ее стойкость к горению.

По результатам испытаний утеплитель Пеноплэкс 35 Кровля по пожарно-техническим характеристикам соответствует материалам слабогорючим (ГОСТ 30244-94), трудносгораемым (СТ СЭВ 2437-80), не распространяющим пламени по поверхности, умеренновоспламеняемым, с высокой дымообразующей способностью.

Экструдированный пенополистирол Пеноплэкс Кровля, так же, как и древесина, при горении выделяет практически только два вида газов (CO - угарный газ, CO2 - углекислый газ), это еще одно важное отличие экструдированного пенополистирола от ряда органических строительных материалов, выделяющих комплекс вредных для здоровья человека веществ.

Технические характеристики:

Теплопроводность: Экструзионный пенополистирол - это эффективный теплоизолятор с коэффициентом теплопроводности 0,025-0,03 вт/мК. Благодаря ничтожному влагопоглощению и высокой стойкостью к воздействию циклов замораживания-оттаивания, материал сохраняет свои свойства в течение длительного времени.

Водопоглощение: Водонепроницаемый материал. Благодаря закрытой ячеистой структуре, экструзионный пенополистирол не содержит пустот, способных поглощать воду.

Устойчивость при длительном воздействии: Материал характеризуется влагостойкостью при длительном воздействии влаги, а также высокой стойкостью к воздействию пара, что обеспечивает сохранение эксплуатационных характеристик материала в прямом контакте с водой в любом температурном режиме. Водопоглощение экструзионного пенополистирола через 28 дней выдержки в воде не превышает 0,2%, а стойкость к диффузии водяных паров составляет 100-225.

Перепады температуры: Экструзионный пенополистирол сохраняет свои свойства после длительного воздействия циклов замораживания-оттаивания. После 1000 циклов воздействия изменение термического сопротивления материала не превышает 5%.

Механическая прочность: Материал характеризуется высокой прочностью на сжатие, значение которой зависит от плотности плит. Так 45-й тип (плотность 38,6 - 50,0 кг/м³-) способен выдерживать нагрузку до 65 т/м²- при 10% линейной деформации. Плиты Пеноплэкс обладают значительной прочностью (0,2-0,3 мПа) при длительном воздействии (1000 час.) нагрузки на сжатие. При этом материал легко обрабатывается.

Химическая стойкость: Экструзионный пенополистирол обладает достаточно высокой химической стойкостью по отношению к большинству используемых в строительстве материалов и веществ. Экструзионный пенополистирол не подвержен биоразложению в условиях окружающей

среды и не представляет никакой опасности экологии и здоровью человека. Изделия неядовитые, не имеют запаха и не образуют пыли.

Исходя из данных характеристик материалов, предоставленных их ними производителями можно сделать вывод, что Пэноплекс Кровля 35 обладает более высокой устойчивостью к воздействию открытого пламени по сравнению с пенопластом ПСБ-С 35.

Далее необходимо произвести теплотехнический расчет плоской кровли с данными материалами для определения необходимой толщины утеплителя для покрытия кровли.

Подбор толщины утеплителя начинаем с пенопласта ПСБ-С 35 с учетом всех слоев кровельного ковра и в соответствии с СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».

Исходные данные для расчета:

Район строительства: Биробиджан

Относительная влажность воздуха: $\varphi_в$=55%

Тип здания или помещения: Лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты

Вид ограждающей конструкции: Перекрытия чердачные (с кровлей из рулонных материалов)

Расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания: $t_в$=22°С

Расчет:

Согласно таблицы 1 СП 50.13330.2012 при температуре внутреннего воздуха здания $t_{int}$=22°С и относительной влажности воздуха $\varphi_{int}$=55% влажностный режим помещения устанавливается, как нормальный.

Определим базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче $R_{отр}$ исходя из нормативных требований к приведенному сопротивлению теплопередаче (п. 5.2) СП 50.13330.2012) согласно формуле:

$$R_{отр}=a\cdot ГСОП+b$$

где a и b- коэффициенты, значения которых следует приниматься по данным таблицы 3 СП 50.13330.2012 для соответствующих групп зданий.

Так для ограждающей конструкции вида- перекрытия чердачные (с кровлей из рулонных материалов) и типа здания -лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты a=0.00045; b=1.9

Определим градусо-сутки отопительного периода ГСОП, $^0$С·сут по формуле (5.2) СП 50.13330.2012

$$ГСОП=(t_в-t_{от})z_{от}$$

где $t_в$-расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания,°С

$t_в$=22°С

$t_{от}$-средняя температура наружного воздуха,°С принимаемые по таблице 1 СП131.13330.2012 для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более 10 °С - при проектировании лечебно-профилактических, детских учреждений и домов-интернатов для престарелых.

$t_{ов}$=-9.2 °С

$z_{от}$-продолжительность, сут, отопительного периода принимаемые по таблице 1 СП131.13330.2012 для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более 10 °С - при проектировании лечебно-профилактических, детских учреждений и домов-интернатов для престарелых.

$z_{от}$=234 сут.

Тогда

$$ГСОП=(22-(-9.2))234=7300.8\ °С·сут$$

По формуле в таблице 3 СП 50.13330.2012 определяем базовое значение требуемого сопротивления теплопередачи $R_{отр}$ ($м^2·°С/Вт$).

$$R_{онорм}=0.00045·7300.8+1.9=5.19м^2°С/Вт$$

Поскольку произведен расчет удельного расхода тепловой энергии на отопление здания то сопротивление теплопередаче $R_{онорм}$ может быть меньше нормируемого $R_{отр}$, на величину $m_р$

$$R_{онорм}=R_{отр}0.8$$

$R_{онорм}=4.15м^2·°С/Вт$

Поскольку населенный пункт Биробиджан относится к зоне влажности - нормальной, при этом влажностный режим помещения - нормальный, то в соответствии с таблицей 2 СП50.13330.2012 теплотехнические характеристики материалов ограждающих конструкций будут приняты, как для условий эксплуатации Б.

Схема ограждающей конструкции показана на рисунке:

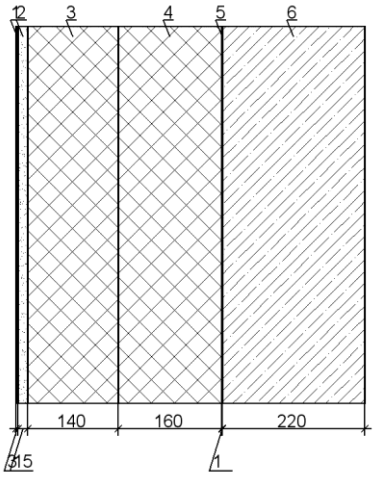


Рисунок 2 - Схема ограждающей конструкции

1.Рубероид (ГОСТ 10923), толщина $\delta_1$=0.003м, коэффициент теплопроводности $\lambda_{Б1}$=0.17Вт/(м°С), паропроницаемость $\mu_1$=1мг/(м·ч·Па)

2.Раствор цементно-песчаный, толщина $\delta_2$=0.015м, коэффициент теплопроводности $\lambda_{Б2}$=0.93Вт/(м°С), паропроницаемость $\mu_2$=0.09мг/(м·ч·Па)

3.ПСБ-С-35, толщина $\delta_3$=0.16м, коэффициент теплопроводности $\lambda_{Б3}$=0.0474Вт/(м°С), паропроницаемость $\mu_3$=0.05мг/(м·ч·Па)

4.Гравий керамзитовый ГОСТ 9757 (р=500 кг/м.куб), толщина $\delta_4$=0.16м, коэффициент теплопроводности $\lambda_{Б4}$=0.165Вт/(м°С), паропроницаемость $\mu_4$=0.23мг/(м·ч·Па)

5.Рубероид (ГОСТ 10923), толщина $\delta_5$=0.001м, коэффициент теплопроводности $\lambda_{Б5}$=0.17Вт/(м°С), паропроницаемость $\mu_5$=1мг/(м·ч·Па)

6.Железобетон (ГОСТ 26633), толщина $\delta_6$=0.22м, коэффициент теплопроводности $\lambda_{Б6}$=2.04Вт/(м°С), паропроницаемость $\mu_6$=0.03мг/(м·ч·Па)

Условное сопротивление теплопередаче $R_{0усл}$, (м$^2$°С/Вт) определим по формуле Е.6 СП 50.13330.2012:

$$R_{0усл}=1/\alpha_{int}+\delta_n/\lambda_n+1/\alpha_{ext}$$

где $\alpha_{int}$ - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/(м$^2$°С), принимаемый по таблице 4 СП 50.13330.2012

$\alpha_{int}$=8.7 Вт/(м$^2$°С)

$\alpha_{ext}$ - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности, ограждающей конструкций для условий холодного периода, принимаемый по таблице 6 СП 50.13330.2012

$\alpha_{ext}$=12 -согласно п.3 таблицы 6 СП 50.13330.2012 для перекрытий чердачный (с кровлей из рулонных материалов).

$$R_{0усл}=1/8.7+0.003/0.17+0.015/0.93+0.16/0.0474+0.16/0.165+0.001/0.17+0.22/2.04+1/12$$

$R_{0усл}$=4.69м$^2$°С/Вт

Приведенное сопротивление теплопередаче $R_{0пр}$, (м$^2$°С/Вт) определим по формуле 11 СП 23-101-2004:

$$R_{0пр}=R_{0усл}\cdot r$$

r-коэффициент теплотехнической однородности ограждающей конструкции, учитывающий влияние стыков, откосов проемов, обрамляющих ребер, гибких связей и других теплопроводных включений

r=0.97

Тогда

$$R_{0пр}=4.69\cdot 0.97=4.55м^2\cdot °С/Вт$$

Величина приведённого сопротивления теплопередаче $R_{0пр}$ больше требуемого $R_{0норм}$ (4.55>4.15), следовательно, представленная ограждающая конструкция соответствует требованиям по теплопередаче.

Далее подобно предыдущему расчету производим подбор толщины утеплителя, но уже для Пэноплекса Кровля (тип 35).

Исходные данные:

Район строительства: Биробиджан

Относительная влажность воздуха: $\varphi_в$=55%

Тип здания или помещения: Лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты

Вид ограждающей конструкции: Перекрытия чердачные (с кровлей из рулонных материалов)

Расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания: $t_в$=22°С

Расчет:

Согласно таблицы 1 СП 50.13330.2012 при температуре внутреннего воздуха здания $t_{int}$=22°С и относительной влажности воздуха $\varphi_{int}$=55% влажностный режим помещения устанавливается, как нормальный.

Определим базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче $R_{отр}$ исходя из нормативных требований к приведенному сопротивлению теплопередаче (п. 5.2) СП 50.13330.2012) согласно формуле:

$$R_{отр}=a\cdot ГСОП+b$$

где a и b- коэффициенты, значения которых следует приниматься по данным таблицы 3 СП 50.13330.2012 для соответствующих групп зданий.

Так для ограждающей конструкции вида- перекрытия чердачные (с кровлей из рулонных материалов) и типа здания -лечебно-профилактические и детские учреждения, школы, интернаты a=0.00045; b=1.9

Определим градусо-сутки отопительного периода ГСОП, $^0$С·сут по формуле (5.2) СП 50.13330.2012

$$ГСОП=(t_в-t_{от})z_{от}$$

где $t_в$-расчетная средняя температура внутреннего воздуха здания,°С

$t_в$=22°С

$t_{от}$-средняя температура наружного воздуха,°С принимаемые по таблице 1 СП131.13330.2012 для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более10 °С - при проектировании лечебно-профилактических, детских учреждений и домов-интернатов для престарелых.

$t_{ов}$=-9.2 °С

$z_{от}$-продолжительность, сут, отопительного периода принимаемые по таблице 1 СП131.13330.2012 для периода со средней суточной температурой наружного воздуха не более 10 °С - при проектировании лечебно-профилактических, детских учреждений и домов-интернатов для престарелых.

$z_{от}$=234 сут.

Тогда

$$ГСОП=(22-(-9.2))234=7300.8\ °С\cdot сут$$

По формуле в таблице 3 СП 50.13330.2012 определяем базовое значение требуемого сопротивления теплопередачи $R_{отр}$ (м$^2$·°С/Вт).

$$R_{онорм}=0.00045\cdot 7300.8+1.9=5.19 м^2 °С/Вт$$

Поскольку произведен расчет удельного расхода тепловой энергии на отопление здания то сопротивление теплопередаче $R_{онорм}$ может быть меньше нормируемого $R_{отр}$, на величину $m_р$

$$R_{онорм}=R_{отр}0.8$$

$R_{онорм}$=4.15м$^2$·°С/Вт

Поскольку населенный пункт Биробиджан относится к зоне влажности - нормальной, при этом влажностный режим помещения - нормальный, то в соответствии с таблицей 2 СП50.13330.2012 теплотехнические характеристики материалов ограждающих конструкций будут приняты, как для условий эксплуатации Б.

Схема ограждающей конструкции показана на рисунке:

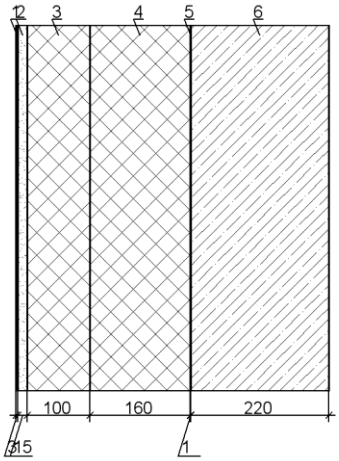


Рисунок 3 - Схема ограждающей конструкции

1.Рубероид (ГОСТ 10923), толщина $\delta_1$=0.003м, коэффициент теплопроводности $\lambda_{Б1}$=0.17Вт/(м°С), паропроницаемость $\mu_1$=1мг/(м·ч·Па)

2.Раствор цементно-песчаный, толщина $\delta_2$=0.015м, коэффициент теплопроводности $\lambda_{Б2}$=0.93Вт/(м°С), паропроницаемость $\mu_2$=0.09мг/(м·ч·Па)

3.ПЕНОПЛЭКС КРОВЛЯ (тип 35), толщина $\delta_3$=0.1м, коэффициент теплопроводности $\lambda_{Б3}$=0.032Вт/(м°С), паропроницаемость $\mu_3$=0.015мг/(м·ч·Па)

4.Гравий керамзитовый ГОСТ 9757 (р=500 кг/м.куб), толщина $\delta_4$=0.16м, коэффициент теплопроводности $\lambda_{Б4}$=0.165Вт/(м°С), паропроницаемость $\mu_4$=0.23мг/(м·ч·Па)

5.Рубероид (ГОСТ 10923), толщина $\delta_5$=0.001м, коэффициент теплопроводности $\lambda_{Б5}$=0.17Вт/(м°С), паропроницаемость $\mu_5$=1мг/(м·ч·Па)

6.Железобетон (ГОСТ 26633), толщина $\delta_6$=0.22м, коэффициент теплопроводности $\lambda_{Б6}$=2.04Вт/(м°С), паропроницаемость $\mu_6$=0.03мг/(м·ч·Па)

Условное сопротивление теплопередаче $R_{0усл}$, ($м^2$°С/Вт) определим по формуле Е.6 СП 50.13330.2012:

$$R_{0усл}=1/\alpha_{int}+\delta_n/\lambda_n+1/\alpha_{ext}$$

где $\alpha_{int}$ - коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций, Вт/($м^2$°С), принимаемый по таблице 4 СП 50.13330.2012

$\alpha_{int}$=8.7 Вт/($м^2$°С)

$\alpha_{ext}$ - коэффициент теплоотдачи наружной поверхности, ограждающей конструкций для условий холодного периода, принимаемый по таблице 6 СП 50.13330.2012

$\alpha_{ext}$=12 -согласно п.3 таблицы 6 СП 50.13330.2012 для перекрытий чердачный (с кровлей из рулонных материалов).

$$R_{0усл}=1/8.7+0.003/0.17+0.015/0.93+0.1/0.032+0.16/0.165+0.001/0.17+0.22/2.04+1/12$$

$R_{0усл}$=4.44$м^2$°С/Вт

Приведенное сопротивление теплопередаче $R_{0пр}$, ($м^2$°С/Вт) определим по формуле 11 СП 23-101-2004:

$$R_{0пр}=R_{0усл} \cdot r$$

r-коэффициент теплотехнической однородности ограждающей конструкции, учитывающий влияние стыков, откосов проемов, обрамляющих ребер, гибких связей и других теплопроводных включений

r=0.97

Тогда

$$R_{0пр}=4.44 \cdot 0.97=4.31 м^2 \cdot °C/Вт$$

Величина приведённого сопротивления теплопередаче $R_{0пр}$ больше требуемого $R_{0норм}$(4.31>4.15) следовательно представленная ограждающая конструкция соответствует требованиям по теплопередаче.

По результатам теплотехнического расчета наиболее эффективным утеплителем является Пэноплекс Кровля (тип 35). Данного материала для утепления кровли по толщине необходимо на 100-(100*100/160)=37,5% меньше чем пенопласта ПСБ-С 35.

Далее необходимо определить наиболее экономичный по цене материал исходя из площади нашей кровли. Для этого обратимся к электронным версиям каталогов крупных магазинов строительных материалов так как склады данных магазинов располагаются на территории г. Биробиджана и ЕАО и соответственно издержки на транспортные расходы до строительной площадки будут минимальны. Проанализировав электронные каталоги таких магазинов как «Лакра» (http://tdlakra.ru/) и «Айсберг» (http://iceberg79.ru/) мы пришли к выводу что материалы ПСБ-С 35 толщиной 160 мм и Пеноплекс Кровля (тип 35) толщиной 100 мм в каталогах данных магазинов отсутствуют. Далее обратившись к интернет поисковику «Яндекс», мы выяснили что данные материалы нужного нам сортамента продаются в магазинах «Гиперстройка» и Farpost у торгового представителя «bafus» в г. Москва. Рассчитаем общую стоимость утепления кровли для каждого материала по отдельности. Стоимость 1*2*0.04=0.08$м^3$ пенопласта ПСБ-С 35 при толщине 40 мм составляет 319 рублей. Площадь все кровли составляет 3800 $м^2$. Далее определим стоимость пенопласта ПСБ-С 35 при толщине 160 мм для этого определим объем необходимого материала при толщине листа 40мм 3800*0.04=152 $м^3$, так как кровля по толщине составная и состоит из четырех листов толщиной по 40 мм каждый, то данный объем домножаем еще на 4 и получаем общий объем утеплителя в размере 608 $м^3$. Далее методом пропорции определяем общую стоимость всего материала 608*319/0.08=2.424.400 рублей. Так данный материал необходимо везти из г. Москвы в г. Биробиджан то необходимо к стоимости материалов прибавить расходы на транспорт согласно пункту 4.60 МДС 81-35.2004 в размере 5%. Итоговая стоимость пенопласта ПСБ-С 35 при толщине 160 мм с учетом транспортных расходов составит 2424400+(2424400*5%)=2.545.620 рублей.

Далее по аналогии с предыдущим расчетом произведем расчет стоимости строительного материала для кровли «Пеноплекс Кровля» (тип 35).

Стоимость 1 $м^2$ материала при толщине 100 мм в магазине «ГиперСтройка» составляет 559 рублей. Перемножив стоимость 1 $м^2$ материала на площадь все кровли получим стоимость материала в размере 559*3800=2.124.200 рублей. Так как данный материал находится в г. Москва необходимо прибавить расходы на транспорт согласно пункту 4.60 МДС 81-35.2004 в размере 5%. Итоговая стоимость «Пеноплекс Кровля» (тип 35). при толщине 100 мм с учетом транспортных расходов составит 2124200+(2124200*5%)=2.230.410 рублей.

Сравнив результаты расчетов можно сделать вывод что покрыть крышу школы материалом «Пеноплекс Кровля» (тип 35) будет выгодней на 12,38%.

В результате анализа теплоизоляционных материалов Пеноплекс Кровля и ПСБ-С 35 нам удалось определить, что материал Пеноплекс максимально подходит для утепления кровли школы по пожарным, теплотехническим и экономическим параметрам.

**Библиографический список**

1. URL: http://www.penoplex.ru/products/penoplekssskatnaya_krovlya/ (дата обращения: 22.05.2017).
2. URL: http://rospenoplast.ru/psb-s-35 (дата обращения: 22.05.2017).
3. СП 17.13330.2011 Кровли.
4. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий.
5. СП 131.13330.2012 Строительная климатология.
6. СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий.