

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Архитектурно-строительный институт

(наименование института полностью)

Кафедра «Промышленное, гражданское строительство и городское  
хозяйство»

(наименование кафедры)

08.04.01 Строительство

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Технология строительного производства»

(направленность (профиль))

## МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему «Совершенствование конструктивно-технологических решений  
кровли при капитальном ремонте высотных зданий»

Студент

Ж.В. Вылегжанина

(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

Научный

А.А. Руденко

(И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

руководитель

Руководитель программы д.э.н., к.т.н., профессор, А.А. Руденко

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой ПГСигХ к.т.н., доцент, Д.С. Тошин

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

\_\_\_\_\_ (личная подпись)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 г.

Тольятти 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 Анализ отечественного и зарубежного опыта капитального ремонта кровель высотных зданий.....	7
1.1 Конструкции и виды кровли высотных зданий .....	7
1.2 Отечественный и зарубежный опыт капитального ремонта кровель высотных зданий .....	24
1.3 Анализ технологических решений при капитальном ремонте кровель высотных зданий .....	30
2 Исследование технологии капитального ремонта кровель высотных зданий .....	39
2.1 Виды дефектов, повреждений и факторы, влияющие на выбор конструктивно-технологических решений по ремонту кровель высотных зданий .....	39
2.2 Анализ принципов выбора конструктивно-технологических решений при капитальном ремонте высотных зданий .....	46
2.3 Сравнительный анализ технико-экономических характеристик конструктивно-технологических решений при ремонте кровли высотных зданий .....	52
3 Совершенствование конструктивно-технологических решений по устройству кровель при капитальном ремонте высотных зданий .....	60
3.1 Предложения по конструктивному устройству кровель высотных зданий .....	60
3.2 Предложения по технологии производства кровельных работ.....	67
3.3 Оценка эффективности предлагаемого варианта устройства кровли .....	75
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	78
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
ПРИЛОЖЕНИЕ .....	84

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Кровля является одной из основных частей любого здания и играет большую роль в обеспечении его долговечности, достижении энергетической эффективности, защите нижележащих конструкций и внутренних помещений от неблагоприятных атмосферных воздействий.

В связи с тем, что кровля в наибольшей степени подвержена влиянию различных внешних факторов, следует задуматься о ее неизбежном ремонте, чтобы продлить жизненный цикл всего здания. Многие кровли требуют ремонта ввиду несоответствия современным требованиям надежности и теплоэффективности. Анализ данных показывает, что большая часть существующих плоских кровель не отличается высокой долговечностью. Ежегодно в России ремонтируется около 20 млн. м<sup>2</sup> кровель.

Высотное строительство начало развиваться в России к концу прошлого века практически во всех крупных городах страны. И на сегодняшний день количество небоскребов продолжает увеличиваться значительно быстрыми темпами. Главным образом это объясняется прогрессирующим дефицитом свободных территорий под строительство новых зданий и растущими потребностями людей. С развитием строительных технологий проблема возведения и ремонта зданий высотой более 100 метров больше не является трудноразрешимой, но все же остается недостаточно изученной.

Необходимо учитывать, что высотные здания представляют собой технически сложные объекты, и, следовательно, ко всем конструкциям предъявляются повышенные требования по прочности, безопасности и долговечности. Конструктивные решения и технология работ характеризуются рядом отличительных факторов, которые должны учитываться при проведении ремонтных работ на крышах высотных зданий.

Анализ данных показывает, что на данный момент рассматриваемая

проблема ремонта кровли высотных зданий остается малоизученной, и с каждым годом необходимость ее решения существенно растет. Именно поэтому следует обратить внимание на разработку и совершенствование конструктивно-технологических решений капитального ремонта кровли именно для высотных зданий.

Обобщая все вышесказанное, можно сделать вывод, что выбранная тема диссертационного исследования является достаточно актуальной и востребованной в настоящее время.

Цель работы – совершенствование конструктивно-технологических решений кровли при капитальном ремонте высотных зданий, исходя из критериев уменьшения затрат труда, стоимости, повышения качества и безопасности проведения работ.

Предметом исследования диссертационной работы являются способы и методы производства кровельных работ в высотных зданиях.

Объект исследования диссертационной работы – кровля высотных зданий.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Проанализировать современное состояние, существующие конструктивно-технологические решения по устройству кровли высотных зданий.

2. Проанализировать отечественный и зарубежный опыт проведения капитального ремонта кровель высотных зданий, рассмотреть программы капитального ремонта.

3. Выявить и систематизировать факторы, влияющие на выполнение ремонтных кровельных работ в высотных зданиях.

4. Произвести сравнительный анализ имеющихся конструктивных решений кровельных конструкций, исходя из рассмотренных факторов, с целью выбора наиболее оптимального варианта.

5. Усовершенствовать конструктивно-технологические решения по

устройству кровли высотных зданий.

6. Уточнить типологию кровель высотных зданий.

Методы исследования – анализ, моделирование, синтез, индукция, дедукция, факторный анализ.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Уточнена классификация кровель высотных зданий.
2. Усовершенствован вариант конструктивно-технологического решения кровли высотных зданий при её ремонте.

Практическая значимость состоит в разработке обоснованных конструктивно-технологических решений капитального ремонта кровли высотных зданий, в возможности использования материалов главы 3 в практической деятельности строительных организаций.

Апробация результатов исследования. Достоверность результатов исследования подтверждена приведенными в диссертации теоретическими разработками, а также публикациями автора.

По теме диссертационной работы опубликованы 2 статьи:

1. Вылегжанина, Ж.В. К вопросу о проблемах и направлениях реконструкции и капитального ремонта кровель высотных зданий / Ж.В. Вылегжанина, А.А. Руденко; Технические науки. Теория и практика. Материалы II международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 11-17.

2. Вылегжанина, Ж.В. К вопросу о достоинствах и недостатках инверсионной кровли при проведении капитального ремонта / Ж.В. Вылегжанина, А.А. Руденко; Электронный журнал «Наука и образование: новое время. Современная наука». – 2017. - №6.

Степень разработанности темы. Вопросами реконструкции и капитального ремонта высотных зданий занимались Атаев С.С., Акименко В.Н., Беляев Б.И., Кагрманов Р.А., Поляков В.И., Булгаков С.Н., Конторчик А.Ю., Афанасьев А.А., Соколов В.К. и др. Вопросы по устройству кровель рассматривали Анিকেев И.И., Богданов Б.Н., Исаев В.В., Гитлина А.С.,

Ковалев С.С., Москалев Ю.Г. и др.

Вместе с тем вопросы капитального ремонта кровли высотных зданий проработаны недостаточно полно.

Структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, библиографического списка из 48 источников и одного приложения. Общий объем составляет 89 страниц.

# 1 Анализ отечественного и зарубежного опыта капитального ремонта кровель высотных зданий

## 1.1 Конструкции и виды кровли высотных зданий

Покрытие (крыша) – это верхнее ограждение здания, предназначенное для защиты от внешних воздействий [14]. Покрытие состоит из непосредственно кровли и плит покрытия.

Кровля входит в состав покрытия и, в свою очередь, состоит из основания и изолирующих слоев [26].

Известно, что на сегодняшний день к кровле предъявляется ряд важных требований:

- обеспечение водонепроницаемости;
- поддержание комфортной температуры и влажности воздуха внутри здания, снижение теплотерь до минимальных;
- недопущение возникновения конденсата в конструкциях и помещениях;
- защита от шума, внешних факторов;
- способность выдерживать снеговые, ветровые нагрузки и иные нагрузки, возникающие в процессе эксплуатации;
- пригодность для проведения ремонтных работ, которые способствуют повышению срока службы кровли [6].

Также известно, что в зависимости от уклона кровли подразделяются на скатные и плоские. Крыши высотных зданий проектируют плоскими (уклон 0-2,5%), малоуклонными (уклон 2,5-5%).

Плоские крыши состоят из следующих основных элементов:

- перекрытие (несущая конструкция);
- теплоизоляция;
- гидроизоляция.

В некоторых случаях возможно объединение слоев, если один материал сочетает в себе сразу несколько функций [2].

Исходя из необходимых параметров и функций крыши, в состав кровли также могут входить следующие слои:

- слой, предназначенный для создания небольшого уклона (гравийная засыпка);
- слой пароизоляции;
- защитный слой покрытия;
- защитный разделительный слой;
- слои для дальнейшего использования пространства крыши (эксплуатируемая кровля) [17].

Пароизоляция устраивается, как правило, под теплоизоляцией в один или два слоя оклеечным или окрасочным способом и предохраняет конструкцию от возникновения излишней влаги и выпадения конденсата [8].

Теплоизоляция выполняет функцию защиты от перепадов температур.

Гидроизоляция предотвращает попадание воды в толщу конструкций и внутрь помещений.

Верхнее покрытие плоской кровли может состоять из одного или двух слоев.

Одним из важных моментов при выборе материалов является необходимость максимального уменьшения нагрузки от веса кровли на несущие конструкции здания [1].

Среди гидроизоляционных материалов предпочтение отдается материалам с небольшой сжимаемостью под нагрузкой и с малым коэффициентом теплопроводности.

Все гидроизоляционные материалы, которые используют для устройства кровель, условно подразделяют на три группы (три поколения) [29].

Первое поколение материалов – это материалы на основе рубероида, пергамина, технология их изготовления состоит в пропитке кровельного

картона битумом. Данные материалы все реже применяются при строительстве и ремонте, так как не отвечают широкому спектру предъявляемых требований и имеют ряд существенных недостатков: небольшая плотность, быстрое старение, низкая морозостойкость.

Ко второму поколению относят стеклохолст и стеклоткань (стеклорубероид), и битумно-полимерные материалы. Их применение также невелико [28].

Третье поколение – это полимерные материалы, их срок службы выше, чем у их предшественников, в несколько раз [31].

Полимерные материалы имеют более высокую стоимость, однако следует учитывать, что при устройстве кровель требуется меньше слоев, а их прогнозируемый срок службы составляет около 30 лет, тем самым увеличиваются периоды между капитальными ремонтами кровли. Данный фактор также необходимо рассматривать при выборе материала и конструкции крыши, так как проведение ремонтных работ на крыше эксплуатируемых высотных зданий осложняется рядом особенностей. Для высотных зданий наиболее предпочтительными являются материалы, обладающие высокоэластичными свойствами, так как они способны выдерживать процессы деформации основания во время эксплуатации [4].

В свою очередь полимерные материалы делятся на две большие группы:

- 1) Материалы на основе эластомеров (ЭПДМ, СКЭПТ, ХСПЭ, полиизобутилен, неопрен и др.).
- 2) Материалы на основе ПВХ, этиленовых интерполимеров и др.

Таблица 1.1 – Сравнительная характеристика битумно-полимерных и полимерных материалов

№ п.п.	Характеристика	Битумно-полимерные материалы	Полимерные материалы
1	Прочность при растяжении	4-8 МПа	6-12 Мпа
2	Относительное удлинение	10-40 %	300-500 %
3	Теплостойкость	80-100 °С	120 °С

Таким образом, по типу и составу материала кровли высотных зданий подразделяются на следующие виды:

- рулонные (рубероид и его современные модификации, наплавляемые материалы);

- пленочные (полимерные мембраны);

- мастичные (битумные, кровельные мастики) [21].

В свою очередь, кровельные материалы можно классифицировать по нескольким признакам:

1) по структуре полотна:

- основные;

- безосновные;

2) по типу основы:

- с картонной основой;

- с асбестовой основой;

- стекловолокнистые;

- полимерные волокна;

- комбинированные;

3) по типу кровельного материала:

- битумные;

- битумно-полимерные;

- полимерные;

4) по типу защитного слоя:

- материалы с посыпкой;

- материалы с фольгой;

- материалы с пленкой [28].

Рулонные кровли изготавливают из битумных, битумно-полимерных материалов на синтетической, стекло- или картонной основе. Наиболее часто применяемым материалом долго оставался рубероид, в настоящее время его используют только для текущего ремонта кровли. В современных кровлях на смену рубероиду и Рубемасту пришли более новые материалы, типа

Стеклоизол, Бикрост, Линокром, Техноэласт. Установлено [13], что кровли из рулонных материалов наиболее уязвимы для внешних воздействий. Однако на сегодняшний день большинство существующих кровель высотных зданий являются рулонными. Важной особенностью для рулонных кровель является необходимость усиления дополнительными слоями уязвимых участков кровли, таких как ендовы, карнизные свесы, примыкания.

Характеристики наиболее часто применяемых рулонных материалов представлены в таблицах [8].

Таблица 1.2 – Свойства кровельных рулонных материалов

№ п.п.	Материал	Масса 1 м <sup>2</sup> , г	Разрывная сила при растяжении, кгс/см	Относительное удлинение, %	Теплостойкость °С	Водопоглощение через 24 часа, %
1	Люберит	3500±500	75	8	80	1
2	Изопласт	3000-5500	61,2	-	120±2	1
3	Стекломаст	3200	85	-	85	1,5
4	Кондор	3200	72	7,5	100	0,54
5	Битумен	2000	53,8	7	120	0,11
6	Виапол		80	45	120	0,47
7	Стеклоизол	3500-4000	50	-	80±2	-
8	Бикрост	3000	67	2	80	1
9	Линокром	3600-4600	50	2	80	2
10	Техноэласт	4600-5000	58	2-4	100	1

Пленки и полимерные мембраны являются относительно новыми и более современными материалами для кровли. Они не пропускают влагу и не способствуют образованию конденсата. Структура мембран позволяет отказаться от вентиляционного зазора между утеплителем и гидроизоляцией. Различают псевдодиффузные мембраны (или перфорированные пленки), диффузионные и супердиффузионные мембраны. Мембраны хорошо выполняют функцию защиты теплоизоляционного слоя от ветра и атмосферных воздействий [24].

Отличительной особенностью мембранной кровли является то, что она является теплой. Это актуально при текущем росте цен на энергоносители. Однако основным недостатком мембранной кровли является ее дороговизна.

Следует отметить, что объем импортных материалов составляет примерно 2-3 % [17].

Таблица 1.3 - Свойства мембранных кровельных материалов

№ п.п.	Наименование материала	Толщина, мм	Физико-механические свойства			
			Разрывная сила, Н	Относительн. Удлинение, %	Водопоглощение за 24 ч, %	Теплостойкость, °С
1	Армилен	0,8-1,2	1,8	30	1	80
2	Армокровлелон	1-2	2	60	1,5-2	150
3	Бикапол	1,5-3	1	300	0,2	100
4	Бутизол	1,3	0,6	100	2	70
5	Бутиласт	1-2	3	300	3	150
6	Гидрокром	1,5-2	0,5	300	0,8	110
7	Изолен	1,2-1,6	2	250	1	100
8	Кармизол	1,5	1,6	300	1,4	150

Как показывают исследования, процент использования мембранных кровель в России составляет лишь 5%. Для сравнения: в странах Европы этот показатель достигает 40-50% [9]. Вид материала, его размеры выбирают исходя из параметров и конфигурации здания так, чтобы уменьшить количество стыков и швов.

Таблица 1.4 – Сравнение свойств мембран, применяемых при устройстве кровель

№ п.п.	Характеристика	Ед. изм.	Диффузионная мембрана	Супердиффузионная мембрана
1	Водонепроницаемость	м. водного столба	2-3	До 5
2	Паропроницаемость	г/м <sup>2</sup> за 24 ч	740	5000
3	Прочность на поперечный разрыв	Н/5см	318	350
4	Прочность на продольный разрыв	Н/5см	339	380
5	Стойкость к УФ	Месяц	Не менее 3	Не менее 4
6	Экономия энергии	%	До 25	До 40

Свойства различных пленочных материалов представлены в таблицах [6, 8]. Анализ рынка кровельных материалов показывает, что многие из них обладают недостатками, которые делают их непригодными для использования в высотном строительстве.

Мастичные кровли устраивают из битумных, полимерных мастик (горячих или холодных). Данный вид кровли применяется в новом строительстве все реже и реже.

По условиям эксплуатации кровли делятся на эксплуатируемые и неэксплуатируемые [10].

Основными критериями выбора типа кровли являются: соответствие архитектурному облику и функциональному назначению здания, стоимость конструкции, надежность, прочность, долговечность (более подробно все критерии рассмотрены в главе 2).

При проектировании кровель из рулонных, мастичных и мембранных материалов применяют следующие конструктивные решения:

- с прямым размещением слоев;
- вентилируемая (двухоболочковая);
- инверсионная [21].

Рассмотрим названные типы конструкций подробнее.

#### 1) Плоские крыши с однослойным верхним покрытием

В случае прямого размещения слоев кровли верхним слоем служит водоизоляционный ковер с защитным покрытием.

Слой теплоизоляции расположен под гидроизоляцией. На несущей конструкции устраивается слой пароизоляции, выводящий паровое давление, он располагается под теплоизоляцией. Разуклонка может располагаться как над теплоизоляцией, так и под ней.

Основным преимуществом данного типа является то, что теплоизоляционный слой хорошо защищен, и степень предъявляемых к нему требований становится меньше [19].

Однако эксплуатационные, ветровые нагрузки, которые особенно характерны для высотных зданий, оказывают разрушающее влияние на гидроизоляционные материалы. Вследствие этого очень быстро образуются протечки, и конструкция становится непригодной для дальнейшего использования. Долговечность конструкции данного типа составляет около 15-20 лет [34].

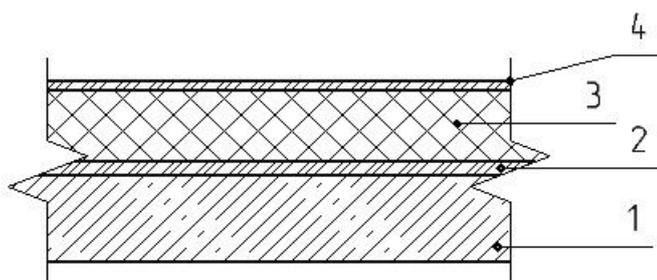


Рисунок 1.1 - Схема традиционной плоской кровли с однослойным верхним покрытием:

- 1 – железобетонная несущая конструкция; 2 – слой пароизоляции;
- 3 – слой теплоизоляции (по расчету); 4 – гидроизоляционный ковер

2) Крыши с двумя слоями верхнего покрытия (вентилируемые кровли)  
Теплоизоляционный слой располагают снизу, а гидроизоляцию – сверху.

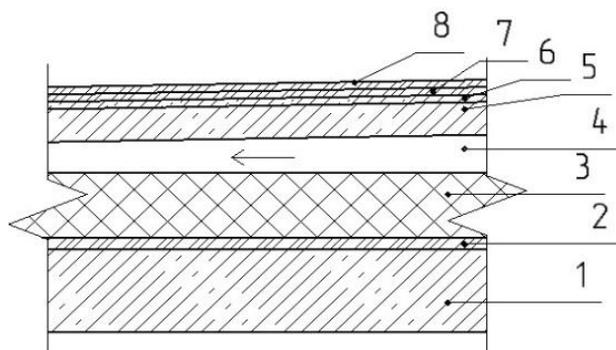


Рисунок 1.2 - Вентилируемая неэксплуатируемая кровля:

- 1 – несущая железобетонная конструкция; 2 – слой пароизоляции;
- 3 – слой теплоизоляции (по расчету); 4 – воздушная прослойка;
- 5 – верхняя железобетонная плита; 6 – стяжка для выравнивания;
- 7 – грунтовка; 8 – водоизоляционный ковер

Между двумя слоями верхнего покрытия имеется воздушный проветриваемый слой. В таком варианте кровли рекомендуется использовать в качестве утеплителя минеральную вату, которая обладает открытой структурой волокон [34].

### 3) Инверсионная кровля

Среди кровель с однослойным верхним покрытием выделяют инверсионные кровли, которые в последнее время все чаще и чаще применяются в высотном строительстве [5].

Инверсионная кровля – это плоская кровля, отличающаяся в технологии устройства, то есть кровля с обратным расположением слоев.

Конструкция инверсионной кровли была разработана в США в 50-е годы XX века [21].

В качестве теплоизоляционного слоя в инверсионной кровле должны использоваться плиты с низким водопоглощением ( $\leq 0,7\%$  за 28 суток) [5].

Отличие инверсионной кровли от обычной плоской кровли представлено на рисунке 1.3.

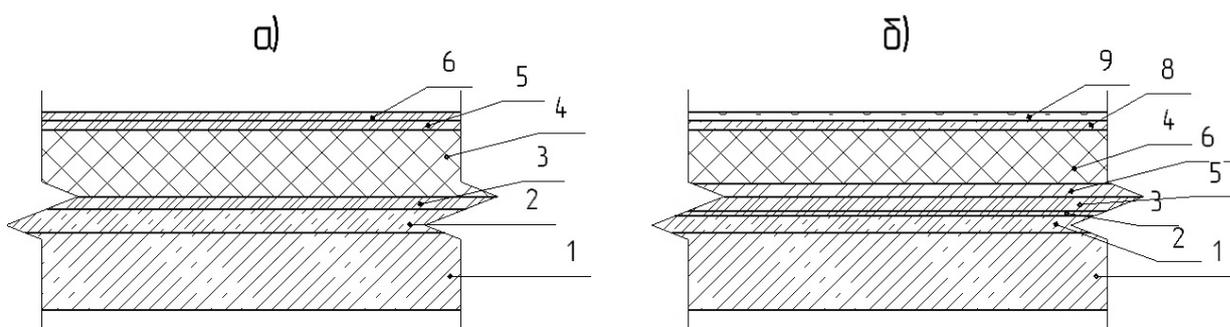


Рисунок 1.3 - Сравнение обычной плоской кровли и инверсионной кровли:

а – традиционная плоская кровля; б – инверсионная кровля;

1 – несущая железобетонная плита; 2 – стяжка; 3 – слой пароизоляции;

4 – слой теплоизоляции; 5 – стяжка с разуклонкой; 6 – гидроизоляционный

ковер; 7 – грунтовка; 8 – фильтрующий материал, геотекстиль; 9 –

пригрузочный слой гравия

Гидроизоляцию выполняют под теплоизоляционным слоем, благодаря этому обеспечивается его защита от суточных перепадов температур, механических повреждений, облучений. Гидроизоляционный слой постоянно подвергается внешним воздействиям, а даже небольшие повреждения могут повлечь за собой негативные последствия для других конструкций и внутренних помещений.

Теплоизоляцию утяжеляют с помощью гравийного слоя или бетонного слоя, чтобы не допустить всплывания или затягивания воздуха [18].

В практике встречаются варианты кровель, в которых выполнено комбинирование слоев – между двух слоев теплоизоляции располагают гидроизоляцию. Однако в этом случае вода может просачиваться через щели примыканий и скапливаться между слоями. Впоследствии происходит ухудшение изолирующих характеристик применяемых материалов.

Если кровля предусматривается не эксплуатируемой, то в качестве утеплителя может использоваться материал с небольшой плотностью. Но если проектируется эксплуатируемая кровля, то следует применять более плотные утеплители, например, экструдированный пенополистерол марки Roofmate [33].

#### 4) Крыши с двойным теплоизоляционным слоем

Такой тип крыши часто встречается при обновлении плоских крыш, когда состояние уже имеющейся теплоизоляции не требует полного снятия. Устроенная ранее теплоизоляция образует нижний слой, а наверху располагается новый, более качественный теплоизоляционный слой. Данный тип также относится к инверсионным кровлям. Толщину слоев выбирают так, чтобы не допустить образование конденсата между слоями [21].

В плоских кровлях часто в качестве теплоизоляции используется экспандированная полистирольная пена, а в качестве гидроизоляции – битумная пластина. В данном случае нет необходимости в устройстве разделительного слоя. Здесь же следует отметить кашированные битумной пластиной различные теплоизоляционные материалы, которые выполняют

все изоляционные функции. Гидроизоляции фиксируется отягощением, наклеиванием [30].

В зарубежном строительстве инверсионные крыши носят название DUO, и изначально они получили свое распространение в США [38].

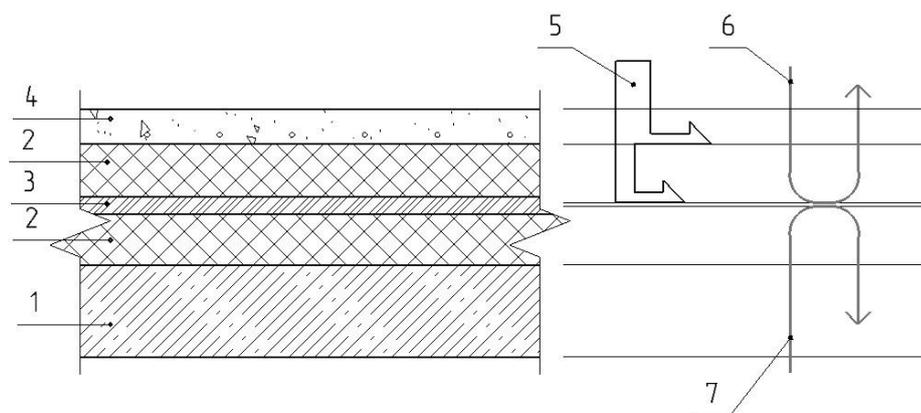


Рисунок 1.4 - Крыша типа DUO:

1 – железобетонная плита; 2 – слой теплоизоляции; 3 – гидроизоляция; 4 – слой гравия; 5 – направление перемещения осадков; 6 – движение пара наружного воздуха; 7 – движение пара и тепла внутреннего воздуха

К покрытиям высотных зданий традиционно предъявляются повышенные требования по прочности, теплоизолирующим, гидроизолирующим свойствам и противопожарным характеристикам применяемых материалов. Перепады температур оказывают особое влияние на кровлю. В случае неправильного ее выполнения в помещения может проникать влага, на конструкциях образуется конденсат, а это приводит к распространению коррозии и плесени [25].

Гидроизолирующий слой должен быть хорошо защищен от снеговых воздействий и воздействий, которые могут появляться в процессе эксплуатации.

Теплоизолирующие материалы должны иметь прочность на сжатие не менее 0,25 МПа и группы горючести НГ или Г1 [8].

Эффективными теплоизолирующими материалами считаются материалы с коэффициентом теплопроводности ниже 0,06 В/м·°С.

Также важно отметить, что материалы кровельного покрытия должны иметь близкие коэффициенты температурного расширения. Это позволит снизить влияние температурных деформаций.

Применение различных теплоизоляционных материалов зависит от назначения крыши, воспринимаемых нагрузок и наиболее полно представлена в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Применение теплоизоляции в зависимости от назначения

Конструкция кровли				Теплоизолирующие материалы							
				Наливная теплоизоляция		Синтетические пены			Минеральная вата		
				пенобетон	Легкий бетон PSH	PS		Жесткая	Минеральная вата	стекловата	
пористый	Экструзион.										
Непригодная для передвижения	Однослойная	Слой с уклоном	Наливная	+	+						
			Плиточная			+			+		
		Теплоизоляция из бетона с гравием				+					
		Теплоизоляция под гидроизоляцией				+				+	
		Тепло- и гидроизоляция							+		
	Однослойная с инверсионной системой слоев						+				
	Двуслойная холодная крыша								+	+	
Пригодная для передвижения, эксплуатации	Терраса и зеленая крыша	С ровной системой слоев				+	+				
		С двойной теплоизоляцией	Сверху				+				
			снизу			+					
	С инверсионной системой слоев						+				
	Крыша и парковка	С ровной системой слоев				+	+				
		С двойной теплоизоляцией	Сверху				+				
снизу					+						

Среди российских теплоизоляционных материалов для высотного строительства выделяют плитное мелкопористое пеностекло «Неопорм», а также экструзионный пенополистирол «Пеноплэкс» или полистиролбетон. Сравнение характеристик материалов приведено в таблице [33].

Таблица 1.6 – Основные показатели материалов для теплоизоляции

№ п.п	Характеристика	Ед. изм.	Теплоизоляционный материал			
			Плитное пеностекло	Экструзионный пенополистирол	Плиты кремниевые	Полистиролбетон
1	Плотность	Кг/м <sup>3</sup>	120-165	25-33	150-400	250
2	Коэффициент теплопроводности	Вт/м·°С	0,044-0,054	0,027-0,033	0,045-0,075	0,07
3	Предел прочности на сжатие	МПа	0,7-1,6	0,25	3,5-6,5	0,8
4	Предел прочности на изгиб	МПа	0,5-0,8	0,45	-	-

Теплоизоляционный материал должен оставаться в сухом состоянии. При увеличении влажности на 5-10% теплоизоляционные характеристики ухудшаются почти в два раза.

Атмосферные осадки отводятся с кровли с помощью воронок с электрообогревом. Высотные здания имеют только внутренний водосток. Обогрев нужен для предотвращения образования ледяной корки в холодное время года [37].

Крыши высотных зданий могут быть выполнены и в других вариантах: скатном, пирамидальном, коническом. Но с точки зрения дальнейшей эксплуатации предпочтение отдается плоским кровлям.

Кровли высотных зданий часто выполняют эксплуатируемыми и размещают на них смотровые площадки, места отдыха, площадки для спасательных кабин вертолетов [36]. Если кровля эксплуатируемая, то по гидроизоляционному ковру устраивают защитное покрытие.

Например, в административных зданиях законодательной и исполнительной власти г. Москвы, входящих в состав комплекса «Москва-

Сити», впервые в России будет произведено озеленение кровель и устроен зимний сад.

Так называемые зеленые крыши имеют хорошие перспективы в будущем, так как верхний зеленый слой хорошо защищает изоляцию от механических повреждений, атмосферных осадков, перепадов температур и продлевает срок службы всей конструкции. С эстетической точки зрения «зеленая кровля» улучшает вид здания и общий городской пейзаж. Однако она предполагает дополнительные нагрузки на конструкции, требует определенного уклона и защиты нижних слоев кровли от прорастания растений [21].

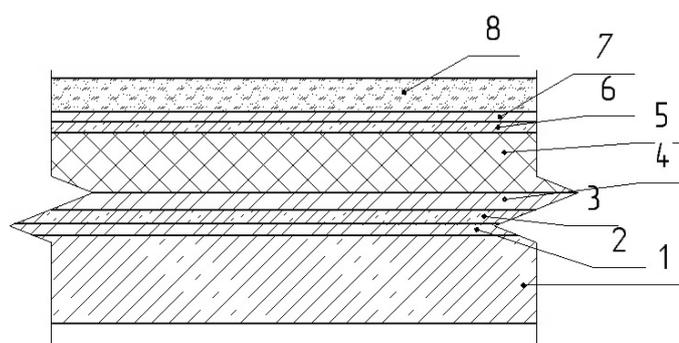


Рисунок 1.5 – Зеленая крыша (инверсионная):

- 1 – железобетонное перекрытие; 2 – пароизоляция; 3 – стяжка с разуклонкой;  
4 – гидроизоляция; 5 – теплоизоляция; 6 – фильтрующий гравий; 7 –  
геотекстиль; 8 – растительные культуры

При устройстве эксплуатируемой кровли обращают внимание на надежность изоляции. Она должна быть рассчитана в зависимости от функционального назначения и воспринимаемых в связи с этим нагрузок, и даже в узлах сопряжения поверхность должна оставаться непрерывной [12].

Также преимуществом плоской кровли является возможность размещения инженерного оборудования. На плоской кровле могут располагаться различные устройства и приспособления для ремонтов фасадов, мытья и уборки витражных окон.

Удаляют снег с эксплуатируемой кровли при помощи специального оборудования, например, теплогенераторов.

Крыша будет пригодной для эксплуатации только при правильном выполнении узлов сопряжения и правильном выборе слоев кровли.

В эксплуатируемых крышах важным вопросом является отвод воды с поверхности. Они не должны проектироваться без дренажного и водоотводного слоя [41].

Отвод воды обычно осуществляется на трех уровнях: непосредственно на поверхности, предназначенной для передвижения людей, устройства террас, на поверхности гидроизоляционного слоя и в пароизоляционном слое [23].

Крыши устраивают над чердачным помещением, чердак может быть как холодным, так и теплым.

Таким образом, конструкция крыши, последовательность слоев, материалы должны выбираться с учетом особенностей здания и климатических условий.

В заключение структурируем и дополним классификацию, частично рассмотренную в главе 1.

Кровли высотных зданий классифицируют:

- 1) по назначению:
  - а) эксплуатируемая:
    - зеленая кровля;
    - кровли-террасы;
    - кровля под транспортную нагрузку;
  - б) неэксплуатируемая;
- 2) по конструктивному признаку:
  - а) традиционная;
  - б) с двойным теплоизоляционным слоем (типа DUO);
  - в) вентилируемая (с двумя слоями покрытия);
  - г) инверсионная;

- с пароизоляционным слоем;
  - без пароизоляционного слоя (\*);
- 3) по типу гидроизоляционного материала:
- а) мастичные;
  - б) Рулонные:
    - из рубероида;
    - современные рулонные материалы;
  - в) пленочные (мембранные);
- 4) по наличию уклона:
- а) с уклоном ( $>3\%$ );
  - б) плоские ( $<3\%$ );
- 5) по способу крепления:
- а) механическое крепление;
  - б) балластная кровля;
  - в) клеевое крепление.

Механическое крепление позволяет уменьшить вероятность разрывов гидроизоляционного слоя, происходящих из-за деформаций основания. Осуществляется при помощи шурупов, заклепок, саморезов, различных стальных элементов.

Балластное крепление предусматривает устройство пригрузочного слоя, например, из гравия. Особенно характерно для кровель инверсионного типа.

Клеевое крепление находит небольшое распространение в кровлях высотных зданий.

Данная классификация дополнена вариантом инверсионной кровли без пароизоляционного слоя, отмечена символом «\*».

Представим классификацию на схеме.

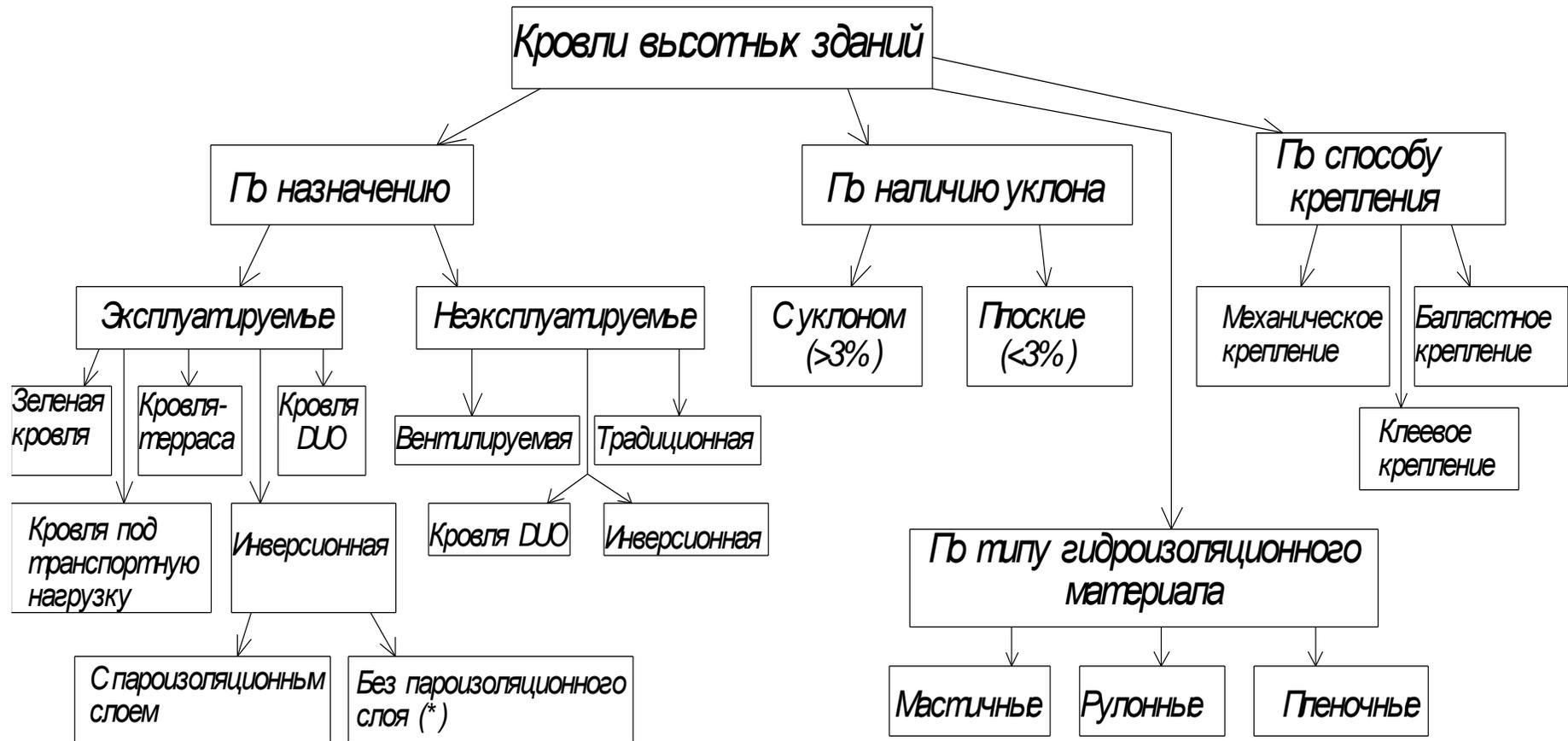


Рисунок 1.6 – Классификация кровель высотных зданий

## 1.2 Отечественный и зарубежный опыт капитального ремонта кровель высотных зданий

Даже не смотря на сравнительную молодость высотных зданий в России, возраст многих из них составляет уже не один десяток лет. Поэтому следует задуматься о вопросах капитального ремонта таких зданий.

Следует различать понятия капитального и текущего ремонта.

Капитальный ремонт кровли высотных зданий – комплекс технических, организационных и технологических мероприятий, который направлен на устранение физического и функционального износа кровли. Включает в себя замену отдельных или всех конструктивных элементов с их возможной модернизацией.

Текущий ремонт – комплекс мероприятий, который направлен на поддержание функционального состояния кровли и на частичную замену мелких элементов (ремонт штукатурки, ремонт примыканий, ремонт обделки листовой сталью) [11].

Таким образом, все работы по замене отдельных слоев или всей конструкции крыши относят к капитальному ремонту.

Ремонтные работы в высотных зданиях имеют целый ряд отличительных особенностей. Основными из них являются:

- сохранение при капитальном ремонте зданий отдельных элементов;
- проведение работ в застроенной части города, а также в отдельных случаях в эксплуатируемых зданиях, заселенных частично или полностью;
- трудность в проведении полного комплекса предпроектных изысканий;
- большое разнообразие технических решений, которые применяются при производстве работ;
- сокращенные сроки проведения работ;
- повышенные требования к технике безопасности;

- отдельные трудности в снабжении материалами, отсутствие мест складирования [7].

При капитальном ремонте выполняются работы, не характерные для нового строительства, например: усиление отдельных конструкций, демонтаж конструкций, повышение теплозащитных и других свойств ограждающих конструкций. Ремонтно-строительные работы обычно ведутся в очень стеснённых условиях, это объясняет специфическую технологию их выполнения, использование специальных технических средств, механизмов, приспособлений [40].

Большинство исследований, проведенных в области ремонтно-строительного производства, касаются отдельных видов работ.

Например, в работе В.Г. Яворского рассматриваются основные вопросы механизации монтажных работ при реконструкции зданий.

Капитальному ремонту кровли посвящены работы [1, 11]. В работах [26, 39] указаны особенности выполнения работ по реконструкции и капитальному ремонту в высотных зданиях. Технология значительно большего количества видов ремонтно-строительных работ рассматривается в трудах [25, 35, 36].

Общим недостатком вышеназванных работ является отсутствие теоретических исследований и практических рекомендаций по оценке и выбору рациональных вариантов технологических решений при ремонте высотных зданий, исходя из конкретных условий выполнения ремонтно-строительных работ.

Впервые эта задача ставится и решается в работах К.А. Шрейбера. Автор определяет в качестве основного критерия выбора рациональных технологических решений технологичность выполнения как отдельных видов ремонтно-строительных работ, так и всего их комплекса. Для оценки критерия технологичности вводится показатель индекса капитальности реконструкции, характеризующий те или иные объёмно-планировочные, архитектурно-конструктивные и инженерные решения и методы выполнения

ремонтно-строительных работ. Количественно технологичность вариантов технических и конструктивных решений предлагается оценивать по суммарной трудоёмкости реализации принятого варианта, отнесённой к 1 м<sup>2</sup> общей площади здания, получаемой в результате осуществления его реконструкции или капитального ремонта. Несмотря на то, что вопросы технологии ремонтно-строительного производства рассматриваются автором лишь в контексте решения более глобальной задачи - разработки методов комплексной оценки вариантов технических и организационно-технологических решений на всех стадиях строительного производства, эти исследования на сегодняшний день являются наиболее весомым вкладом в теорию технологии капитального ремонта и реконструкции зданий.

Проведенный анализ теоретических исследований в области технологии ремонтно-строительного производства позволяет утверждать, что теоретические аспекты технологии ремонта и реконструкции зданий проработаны недостаточно, практически не разработаны эффективные научно обоснованные методы оценки и выбора рациональных вариантов технологических решений при производстве ремонтных работ [39].

Особенно остро стоит вопрос своевременного капитального ремонта кровель высотных зданий, так как к конструкциям высотных зданий традиционно предъявляются повышенные требования надежности и долговечности, а также проведение работ на крышах высотных зданий имеет свою специфику и ряд проблем [20].

В странах Европы и Америки разрабатываются строительные программы, посвященные данному вопросу. Наибольший опыт в капитальном ремонте высотных зданий накоплен в Германии.

В настоящее время капитальный ремонт кровель высотных зданий проводят в США, Франции, Швеции, Бельгии, Великобритании, Индии, Китае.

Так в Бельгии KBC Tower, построенный в 1932 году, первоначально имел высоту 87,5 метра. В 1960-х годах здание планировалось снести, однако

был произведен комплексный капитальный ремонт, после чего его высота увеличилась до 95,8 метров. Здание функционирует по сегодняшний день [20].

В России вопрос ремонта кровель высотных зданий остается открытым и не имеет большого опыта. Действующие строительные нормы охватывают как устройство кровель новых зданий, так и ремонт уже существующих [22].

Как показал опыт, среди крыш построенных высотных зданий в обновлении нуждаются прежде всего крыши с традиционной изоляцией из битумных пластин и насыпного гравийного слоя [32]. Процент выявленных дефектов на инверсионной кровле значительно ниже.

Капитальный ремонт проводится, когда кровля становится неспособной выполнять основные функции – защищать конструкции и помещения здания от атмосферных воздействий.

Ремонт и реконструкция кровель является актуальной проблемой на протяжении многих лет, однако в последние годы благодаря развитию технологий и исследований в данной области, трудоемкость процессов стала гораздо меньше.

Российский опыт ремонта кровель показывает, что в нашей стране отсутствует системный подход к данному вопросу, а это приводит к необоснованной трате огромных средств.

Старая кровля часто имеет толщину 40-50 см и может включать в себя до 10 слоев старого покрытия из битумных материалов, рубероида, которые пропитаны водой. При накрытии старой кровли новой вода будет оставаться внутри конструкции и негативно сказываться на основании и нижележащих конструкциях. Исходя из этого, старую кровлю следует снимать полностью [35].

Часто содержание влаги в утеплителе приводит к разгерметизации кровельного ковра. Причиной этого становится то, что при нагревании в летний период со стороны основания возникает давление паров на кровельный ковер [11].

Ухудшение состояние кровли и появление видимых повреждений происходит прежде всего из-за воздействия атмосферных факторов. Но к другим важным причинам возникновения повреждений относятся:

- повреждения кровельных слоев при выполнении работ;
- несоблюдение требований строительных норм, правил;
- несоблюдение технологии выполнения работ;
- попадание влаги в толщу кровельного ковра при эксплуатации или строительстве;
- отсутствие подготовленной поверхности при наклейке рулонного ковра;
- недостаточная теплостойкость применяемых материалов;
- отклонение от заданного проектного уклона кровли;
- нарушение отвода воды с поверхности крыши или его отсутствие;
- неправильное устройство примыканий;
- неправильно выбранная толщина защитного слоя [22].

Предотвращение возникновения строительных повреждений обеспечивается путем входного, операционного и приемочного контроля. Однако в случае устройства плоских кровель указанные виды контроля осложнены. И также отсутствуют или недостаточно эффективны приборы для проведения контроля качества.

Для увеличения срока службы кровли высотных зданий необходимо правильно выявить имеющиеся повреждения и пути их устранения [9].

Помимо опасности возникновения повреждений, следует помнить о сроке службы элементов зданий. Согласно [36] определен усредненный период времени эффективной эксплуатации конструкций. Для рулонной кровли, в частности, этот срок составляет 10 лет. Кровли из современных материалов более долговечны, но тем не менее и они требуют ремонта, например, срок службы мембранной кровли составляет около 50 лет.

Как известно, широкое распространение в последние годы находят программы капитального ремонта зданий и сооружений.

На сегодняшний день согласно Региональной программе капитального ремонта в России ежегодно проводится капитальный ремонт более 1,5 тыс. домов.

Согласно ст.23 п.1 Закона Самарской области от 21.06.2013 N 60-ГД к перечню работ, входящих в данную программу, относятся:

- ремонт инженерных систем;
- ремонт фасадов;
- ремонт кровли (в том числе к данному пункту относится переустройство неветилируемой кровли в вентилируемую);
- ремонт фундаментов;
- ремонт лифтового оборудования.

Согласно ст.20 п.2 Закона Самарской области от 21.06.2013 N 60-ГД критериями для включения в программу капитального ремонта являются:

- износ здания;
- срок эксплуатации;
- предаварийное состояние.

Особенно следует отметить, что приоритетными критериями при выборе технологических решений являются (ст.25, п.15):

- наименьшая стоимость работ;
- использование современных ресурсосберегающих технологий при проведении работ;
- гарантийный срок выполненных работ.

В таблице 1.7 приведены проанализированные данные Региональной программы капитального ремонта, которые показывают, что на долю крыш приходится около 50 % всех ремонтируемых домов. Также определена средняя стоимость ремонта за 1 м<sup>2</sup>. Процент кровель высотных зданий для Самарской области остается небольшим и составляет приблизительно 1,5%. Для сравнения в Московской области данный показатель варьируется в пределах 10-15%.

Следует отметить, что подавляющее большинство кровель высотных зданий являются плоскими, 20% из них являются эксплуатируемыми и только 5% выполнены в инверсионном варианте.

Таблица 1.7 – Сравнительные данные о планах капитального ремонта крыш зданий в Самарской области

№ п.п.	Год	Общее количество ремонтируемых домов	Среднее количество ремонтируемых крыш зданий	Объем денежных средств на ремонт крыш, руб	Средняя стоимость ремонта на 1 м <sup>2</sup> , руб
1	2017	1652	740	1 296 349 762, 00	2738, 00
2	2018	1605	962	1 527 938 853,00	2847,00
3	2019	1703	827	1 280 827 730, 00	2989, 00
4	2020-2021	1240	687	1 001 559 938, 00	2861,00

Таким образом, вопрос капитального ремонта кровель достаточно актуален на сегодняшний день, однако практически отсутствует структурный подход к данной проблеме. Как правило, при проведении работ не берутся на рассмотрение отдельные особенности высотных зданий, устройство кровли и ее дальнейший ремонт выполняют в традиционном варианте. Однако развитие технологий и рост высотных зданий по всей стране заставляют задуматься о разработке новых предложений в данной области.

### 1.3 Анализ технологических решений при капитальном ремонте кровель высотных зданий

Кровля является одной из главных частей здания и в наибольшей степени подвержена влиянию внешних факторов. С течением времени кровля любого типа требует ремонта.

Проблемами совершенствования технологии ремонта кровель занимались Белевич В.Б, Гитлина А.С., Завражин Н.Н., Лукинский О.А., Сокова С.Д., Теличенко В.И., Трефф Э, Цветков Н.А. и др. Их труды положены в основу данной работы.

Капитальный ремонт, как правило, сводится к разборке поврежденного кровельного ковра и устройству нового. Это дорогой и материалоемкий

способ. К тому же в процессе выполнения работ образуется большое количество битумосодержащих отходов [15].

Вид ремонта выбирается в зависимости от состояния кровли, нормативного срока службы, климатических факторов, финансовых возможностей и других параметров.

Известно, что капитальный ремонт кровли рекомендуется производить в летний период времени [22]. Любой материал, применяемый для капитального ремонта кровли высотных зданий, должен быть тщательно проверен и испытан.

Плоские кровли чаще всего ремонтируют с применением наплаваемых материалов. Известно [16], что кровли из рулонных материалов в наибольшей степени подвергаются нагреву в летнее время. Это приводит к повышению давления водяных паров в порах основания, а затем к распространению вздутий. В конечном итоге происходит отслоение ковра.

Выходом из ситуации является применение вентилируемых кровельных систем, которые представляют собой двухслойное битумно-полимерное покрытие. Оно выполняется из наплаваемых материалов на основе модифицированного полимерами битума, армированного полиэфиром. Перед устройством такой системы, в первую очередь, очищается цементное основание от остатков рубероида, затем полностью ремонтируется цементная стяжка. Другим решением является устройство инверсионной кровли [5].

Ремонт мягкой кровли, которая является наиболее часто встречаемым типом кровли в высотных зданиях, является менее трудоемким процессом, беря во внимания современные технологии. Преимуществом наплаваемых материалов является возможность проведения работ в течение всего года.

Ниже рассмотрим различные методы, применяемые при ремонте плоских наплаваемых кровель.

- 1) Метод полной замены старой кровельной конструкции

В том случае, если старое покрытие не может быть использовано для дальнейшей эксплуатации, его заменяют на новое. При этом выделяются следующие этапы работ.

1. Демонтаж покрытия. Это довольно трудоемкая процедура, которую рекомендовано выполнять с использованием специальных машин, срезающих полотно и скручивающих его в рулон. В том случае, если указанное оборудование отсутствует, демонтаж может быть облегчен за счет применения топора с длинным металлическим топорщиком [26]. Однако в результате разборки старых кровель образуется много вредных битумосодержащих отходов, которые могут быть использованы в дальнейшем в различных целях.

2. После очистки поверхности от старого кровельного материала производится оценка состояния основания. Если есть различные дефекты (трещины, вмятины, выбоины), выполняется частичный ремонт либо полная замена кровельной стяжки. Если присутствуют тепло- и гидроизоляционные слои, то необходимо провести их тщательный осмотр и, при необходимости, ремонт. С целью увеличения срока службы утеплителя рекомендуется покрывать его полиэтиленовой пленкой или мембраной с пароизоляционной функцией [29]. На данном этапе также принимается решение о дальнейшем типе устраиваемой кровли.

3. Поверхность огрунтовывается битумной мастикой, защищающей паро- и теплоизоляционные слои, бетонную стяжку от намокания и способствующей более высокому сцеплению основания с материалом мягкой кровли [28].

4. Происходит укладка нового полотна, начиная с нижнего края крыши. Монтаж отрезков материала производится в порядке очереди, с нахлестом друг на друга не более, чем на 15 сантиметров. Необходимо учитывать угол наклона крыши: чем он меньше, тем большим должен быть нахлест, так как при более покатом скате вода быстро стекает, а при пологом – задерживается, что увеличивает риск просачивания влаги внутрь [28].

5. После укладки кровельных материалов швы промазываются битумной мастикой. При необходимости после высыхания битума возможен монтаж второго слоя покрытия. Укладку листов важно выполнять таким образом, чтобы стыки располагались как можно дальше от стыков на нижнем полотне [17].

6. Если при ремонте задействуют материалы вроде толи или рубероида, то дополнительно поверх них рекомендовано нанести защитный слой из битумной мастики. В завершение ее следует посыпать крошкой из измельченного гранита и утрамбовать катком. У материалов нового поколения уже присутствует сланцевая присыпка, поэтому в дополнительной защите они не нуждаются. Преимущество использования последних заключается еще и в том, что нет необходимости использовать мастику для промазывания швов: небольшие нахлесты отрезков качественно и надежно наплавляются друг на друга [29].

В отдельных случаях имеет место замена существующей старой традиционной кровли на кровлю инверсионного типа. Данный вариант имеет большое количество преимуществ для высотных зданий, так как кровли инверсионного типа могут использоваться в качестве эксплуатируемых поверхностей.

Следует помнить, что переустройство существующей традиционной кровли в инверсионную возможно при достаточной прочности несущей конструкции. Перед началом основных работ по инвентированию кровли необходимо выполнить парапет по всему периметру покрытия высотой не менее 500 мм. Все поверхности парапета теплоизолируют, во избежание промерзания бетонного перекрытия.

В последнее время для ремонта кровель применяются современные материалы, такие как мастики Битурэл или полиэфирные ткани. Выполнение капитального ремонта с полной сменой старого кровельного материала и устройством нового кровельного покрытия Битурэл целесообразно, если ремонтируемая кровля включает в себя большое количество дефектов [42].

## 2) Методы, основанные на применении инфракрасного излучения

В 1980 году для восстановления водонепроницаемости кровли стали использовать электронагревательные установки [36]. Они легли в основу развития новых ресурсосберегающих технологий, которые продолжают совершенствоваться до сих пор. Данным вопросом занимались Белевич В.Б., Гармаш А.И., Сиденко Д.А., Цветков Н.А. и др. Указанные способы основаны на использовании инфракрасного излучения.

Их главное отличие состоит в том, что отсутствует необходимость снятия старой кровли и устройства новых слоев. В связи с этим значительно уменьшаются стоимость и сроки проведения работ. Данная ресурсосберегающая технология позволяет восстанавливать старые слои рулонной кровли при помощи обработки тепловым и лучевым потоком без применения открытого огня [27]. После чего удаляются все имеющиеся повреждения, и кровельный ковер уплотняется в виде единого монолитного слоя. Вода, содержащаяся внутри конструкции, удаляется практически полностью. Кровля после капитального ремонта представляет собой монолитный слой, который достаточно покрыть одним слоем нового наплавляемого материала.

Проведенные испытания показали, что кровельный ковер, восстановленный по данной технологии, обладает хорошей прочностью, долговечностью и отвечает теплотехническим и экологическим требованиям. Однако данный способ остается недостаточно изученным при ремонте кровель жилых зданий.

В 1939 году был разработан способ устранения повреждений в гидроизоляции кровли [22]. Производят нагрев гидроизоляционного слоя путем пропускания тока через металлическую сетку, заложенную в слое изоляции.

Перед проведением работ проводят теплофизические эксперименты образцов ремонтируемой кровли, затем определяют физико-механические свойства кровельных материалов (до и после восстановления).

Существуют следующие способы нагрева и восстановления кровли: при помощи инфракрасного излучения, конвективного теплообмена и при помощи кондуктивного переноса тепла.

### 3) Методы, основанные на применении красок-мембран

Другим современным решением является применение новых материалов, таких как краски-мембраны «Битекс», для капитального ремонта крыш высотных зданий. Как показывает практика, при монтаже кровель из традиционных материалов не всегда удается соблюсти всю технологию и последовательность работ. В результате чего через швы кровли вода просачивается на несущие конструкции. Неблагоприятные погодные условия, ветер, который является основной проблемой всех высотных зданий, также могут привести к нарушению кровельного ковра. Использование новой краски-мембраны предусматривает ее нанесение в 2-3 слоя [16]. Предполагается, что данное решение сможет обеспечить надежность и долговечность кровли. Также следует отметить, что краска имеет белый цвет, а значит, в отличие от темного рубероида, она отражает солнечные лучи и способствует снижению температуры в конструкции. Краска, наложенная на поверхность, с одной стороны пропускает водяные пары, что особенно важно при строительстве, а с другой - не пропускает воду.

Ремонтные работы по восстановлению гибкой кровли осуществляются крайне редко, так как гарантийный срок службы мембранных кровель составляет более 35 лет. Наибольшим преимуществом этого материала является стойкость к резким перепадам температур. Кровельная мембрана – это полимер, который состоит из стекловолокна, пластификатора и модифицированного битума [44].

При монтаже мембраны на кровле используются специальные фены и автоматы для склеивания материала. В результате получается сплошное герметичное покрытие, которое не пропускает воду. Особенностью мембраны является то, что она пропускает через себя пар из кровельного

пирога. Таким образом, утеплитель под мембраной не набирает влагу и не портится. Мембрана является ремонтпригодной. В случае повреждения мембраны её легко отремонтировать, наварив заплатку. При этом герметичность мембраны полностью восстанавливается [36].

#### 4) Метод спекания

Существует также метод спекания – новый, инновационный метод ремонта кровельного пирога из битумных материалов [29].

Как показывает практика, ремонт кровли часто производится путем наплавления еще одного слоя кровли. Но такой ремонт не долговечный, как правило, через 1-2 года кровля снова начинает протекать. И снова производят ремонт наплавлением еще одного слоя. В результате часто на старых кровлях бывает 6-8 слоев рулонного материала. Это значительно повышает нагрузку на несущие конструкции и не гарантирует долговечности.

Суть метода спекания – использовать при ремонте уже имеющиеся слои рулонного битумного материала.

Протекания кровли происходят через трещины, которые возникают в рулонных материалах. Трещины эти появляются, как правило, в местах скопления воды – в случае нарушения уклонов при возникновении неровностей и волн. При этом рулонные материалы «отклеиваются» друг от друга. Если убрать трещины и волны и снова склеить между собой рулонные материалы, то мы получим герметичный полноценный кровельный ковер толщиной 4-12 мм [23]. Технология спекания дает возможность провести указанное склеивание материалов. Кровельный ковер нагревается специальными приспособлениями до температуры 190°C, при этом битум расплавляется, трещины заплавляются, слои битумного материала склеиваются. Имеющаяся в пироге вода выпаривается. После этого кровельный пирог выравнивается специальным инструментом [29].

Установлено, что технология спекания разработана в Ростовском государственном строительном университете. Она применяется с 2002 года, и на сегодняшний день общая площадь отремонтированной кровли

превышает 1 млн. м<sup>2</sup>. Опыт применения показал высокий срок службы отремонтированной кровли – 10 лет и более, при применении качественного материала для верхнего слоя.

Технология предусматривает следующие этапы:

1. Прогревание кровельного ковра.
2. Выпаривание воды и пузырей.
3. Удаление лишнего битума (с целью избежания растрескивания).
4. Выравнивание ковра с использованием ролика.
5. Обновление битумного покрытия специальным составом.
6. Монтаж одного слоя нового рулонного материала.
7. Устройство примыканий из 1 слоя нового рулонного материала.

В заключение представим названные методы (виды) ремонта кровель в табличной форме.

Таблица 1.8 - Сравнение видов ремонта кровли высотных зданий

№ п.п	Характеристика	Классический капитальный ремонт	Ремонт с прим. мембран	Ремонт методом спекания	Восстановление монолитности кровли с применение тепловой и др. энергии	Текущий ремонт
1	Стоимость ремонта (плоская часть кровли, без примыканий) / тыс. руб	750-1200	1200-1500	500-600	500	250-300
2	Срок службы	10-20 лет	20-25 лет	5-10 лет	5-10 лет	1-2 года
3	Дополнительное утепление кровли	-	Да	-	-	-
4	Возможность выполнения работ в зимний период времени	-	Да	Да	-	Да
5	Возможность протечек при проведении работ	Да	-	-	-	-
6	Возможность выполнения работ в дождь	-	-	Да	-	-

Таким образом, как видно из таблицы 1.8, существует четыре основных метода капитального ремонта кровли высотных зданий, каждый из которых имеет свои недостатки и преимущества. В некоторых случаях возможно совмещение разных вариантов. В качестве наиболее рационального метода для кровель высотных зданий мы выберем «классический» метод (полная замена слоев).

## 2 Исследование технологии капитального ремонта кровель высотных зданий

### 2.1 Виды дефектов, повреждений и факторы, влияющие на выбор конструктивно-технологических решений по ремонту кровель высотных зданий

Накопленный опыт по ремонту кровли позволяет сказать, какие основные повреждения возникают на плоской кровле высотных зданий:

- трещины;
- вздутия, пузыри;
- отслаивание изоляционного ковра;
- частичное отсутствие защитного слоя;
- разрушения ковра ограждениями, антеннами;
- биологическое разрушение изоляционного ковра;
- намокание и дальнейшая потеря свойств утеплителя из-за неправильного устройства слоев [32].

Главным следствием повреждений кровли становятся протечки, которые вызывают коррозию конструкций, возникновение и развитие плесени и ухудшение микроклимата помещений.

Протечки подразделяются на регулярные, возникающие сразу после дождя; регулярные, появляющиеся через определенный интервал времени после дождя или начала таяния снега; нерегулярные [22].

Далее рассмотрим причины возникновения повреждений кровель высотных зданий, классифицировав их по характеру воздействия, а также негативные последствия, которые они влекут за собой. Следует также отметить, что эксплуатационные воздействия условно разделяют на внутренние (нарушение технологии, неправильный выбор материалов, конструкции) и внешние (некачественные материалы, низкая квалификация рабочих).

Влияние тех или иных воздействий в значительной степени зависит от климатического района. Их выявление помогает в выборе материалов и конструкции кровли.

Таблица 2.1 – Классификация разрушающих воздействий

№ п.п.	Вид воздействия	Возможные последствия
1	Механические	
	Ветровая нагрузка (ключевой фактор для высотных зданий)	Разрушение целостности кровельного ковра под воздействием ветровой нагрузки
	Град	Выбоины в верхних слоях кровельного пирога
2	Эксплуатационные	
	Неправильный монтаж кровельных материалов	Снижение срока службы материалов, протечки, ухудшение эксплуатационных характеристик кровли, преждевременное старение, потеря кровлей основных функций, отслоения, вздутия, разрушение целостности, коррозия, разрушение основания
	Неправильный выбор конструкции крыши	
	Использованы материалы с недостаточными прочностными, теплоизоляционными и др. характеристиками или некачественные материалы	
	Нарушения в эксплуатации кровли (превышение допустимой нагрузки в случае эксплуатируемых крыш)	
3	Физические	
	Атмосферные осадки (дополнительная нагрузка на кровельные конструкции)	Разрушение неводостойких материалов, гниение, плесень, проникание влаги во внутрь конструкции и разрушение изнутри. Коррозия несущих конструкций
	Перепады температур	Обледенение, таяние, появление лишней воды, конденсат, нагревание материалов. Разрушение кровельного ковра
4	Физико-химические	
	Солнечная радиация (Уф-лучи, инфракрасные лучи)	Убыстрение процессов старения материалов кровли
5	Химико-биологические	
	Жизнедеятельность микроорганизмов	Гниение, плесень
	Жизнедеятельность птиц	Механические повреждения верхних слоев, протечки
	Растительный слой зеленой кровли (*)	Распространение корневой системы
6	Экстренные	
	Аварии, стихийные бедствия	Потеря кровлей способности сопротивляться внешним воздействиям, разрушение

Для высотных зданий следует отдельно выделять воздействия от эксплуатируемой кровли и от зеленой кровли.

Таким образом, все воздействия подразделяются на агрессивные воздействия внешней среды; воздействия, возникающие в результате аварий, стихийных бедствий (природные, техногенные) и эксплуатационные (внешние и внутренние).

Ухудшение состояния кровли происходит неравномерно по ее площади. С ростом физического износа ухудшается сопротивляемость негативным воздействиям. Следует учитывать, что наибольшему влиянию подвержен верхний слой. Это необходимо помнить при выборе конструкции крыши.

Систематизация сведений о дефектах, повреждениях, их причинах и последствиях позволяет установить взаимосвязи между ними. Недостаточно изучены и описаны варианты одновременного или чередующегося влияния и наложения нескольких факторов.

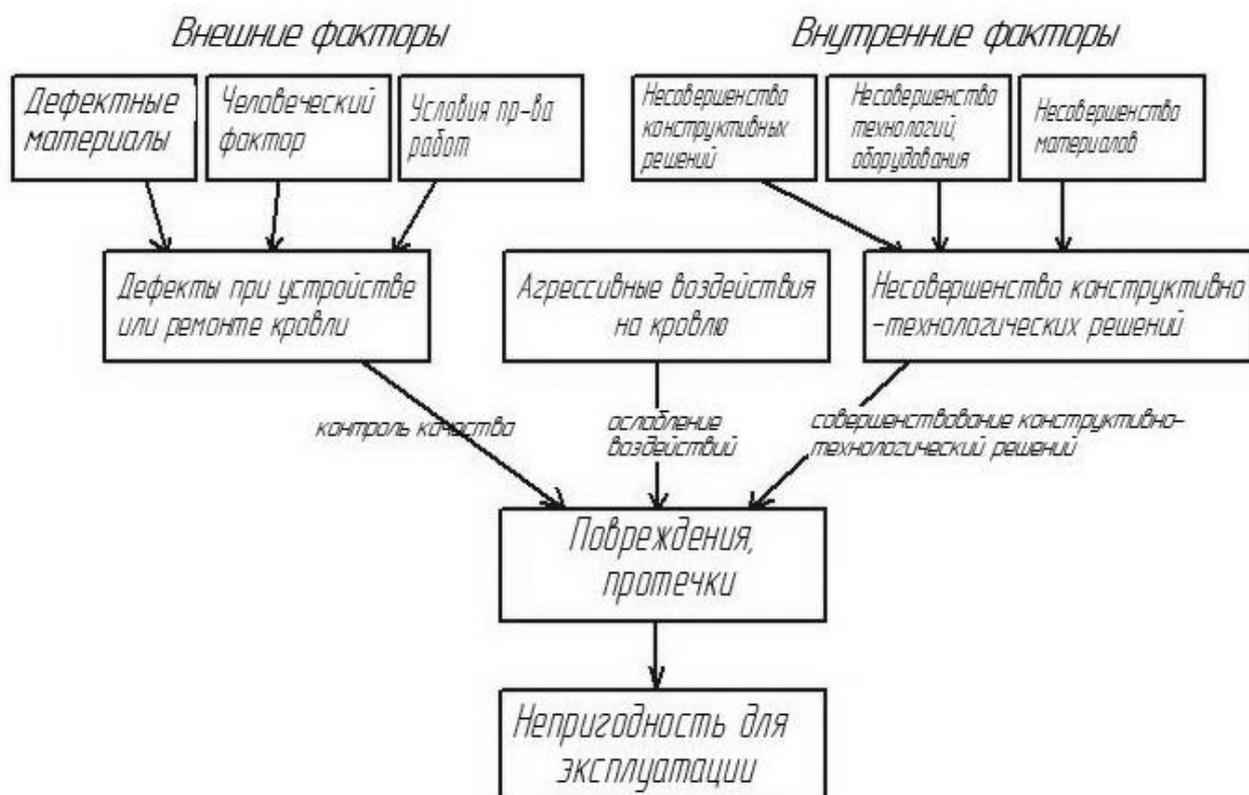


Рисунок 2.1 – Причинно-следственные связи процесса разрушения кровли

Неправильный подбор конструкции кровли, используемых материалов сокращает промежутки между капитальными ремонтами и способствуют более быстрому износу конструкций. На рисунке 2.1 указаны мероприятия, совершенствование которых поможет увеличить срок службы кровли.

Согласно [43] определены следующие этапы износа кровельных конструкций и их признаки.

Таблица 2.2 – Признаки износа плоских кровель жилых зданий

№ п.п	Физический износ, %	Признаки
1	0-20	Одиночные небольшие повреждения, пробоины, повреждения примыканий
2	21-40	Вздутия, трещины, протечки в местах примыканий кровли к вертикальным конструкциям. Необходимость замены старой кровли до 10% площади.
3	41-60	Протечки кровли отдельными местами, просадка основания, разрушение верхнего слоя кровельного пирога, повреждение нижних слоев, вздутия. Необходимость замены старой кровли до 25% площади.
4	61-80	Отслоение кровельного ковра от основания, протечки по всей площади, полное или частичное отсутствие слоев покрытия, отсутствие примыканий
5	81-100	Разрушение кровельного ковра по всей толщине, неспособность кровли выполнять свои функции, массовые протечки, коррозия основания

Далее рассмотрим факторы, влияющие на выбор технологических решений по ремонту кровель.

Фактор – движущая причина какого-либо процесса, явления, определяющая его характер [3].

На выбор технологических, технических и организационных решений оказывают влияние следующие факторы:

- климатические (факторы внешней среды) (-);
- ремонтпригодность – с целью увеличения срока службы (+);
- экономичность (сметная стоимость проведения работ по капитальному ремонту кровли) (+);
- условия эксплуатации, назначение, эксплуатационные расходы (+);
- экологичность, безотходность технологии (+);

- энергоэффективность (+);
- вес создаваемой конструкции (+);
- огнестойкость (+);
- доступное оборудование, машины, механизмы, которые используются в ходе проведения работ (-);
- обеспеченность ресурсами (материалами, водой, энергией и т.д.) (-);
- нормативный срок службы кровельной конструкции (+);
- эстетичность (+);
- трудоемкость (+);
- состояние ремонтируемой поверхности (+).

Для высотных зданий следует отдельно отметить:

- особые условия производства работ (стесненность, отсутствие мест складирования материалов, трудности в подаче материалов) (-);
- высокая ветровая нагрузка (-);
- дополнительная нагрузка от веса людей, конструкций, насаждений в случае устройства эксплуатируемых и зеленых кровель (-);
- повышенные требования техники безопасности, предъявляемые при проведении работ на крыше высотных зданий (+).

Все названные факторы условно можно разделить на внешние (-) и внутренние (+). Обе группы факторов находятся в тесной связи друг с другом.

Следует отметить, что внешние факторы в наибольшей степени влияют на выбор технологии выполнения работ, а внутренние – на выбор конструкции кровли, применяемые материалы.

В таблице 2.3 представлена взаимосвязь между внешними и внутренними факторами. Из нее видно, что наиболее зависимы от внешних факторов долговечность, стоимость и трудоемкость. При выборе конструктивно-технологических решений необходимо учитывать все основные факторы.

Одними из наиболее важных внешних факторов для высотных зданий являются ветровая нагрузка и эксплуатируемая нагрузка на кровлю.

Таблица 2.3 – Взаимосвязь внешних и внутренних параметров

№ п.п.	Внутренние факторы	Внешние факторы							
		Дождь	Снег, наледь	Ветер	Температура	Доступное оборудование	Обеспеченность ресурсами	Условия пр-ва работ на высоте	Эксплуатационная нагрузка
1	Ремонтопригодность	-	-	-	-	+	-	+	+
2	Экономичность	+	+	+	+	+	+	+	+
3	Эксплуатационные расходы	+	+	+	+	-	-	-	+
4	Экологичность	-	-	-	-	+	+	-	-
5	Энергоэффективность	-	-	-	-	-	+	-	-
6	Вес	-	-	-	-	+	+	-	+
7	Огнестойкость	-	-	-	-	+	+	-	-
8	Долговечность	+	+	+	+	+	+	-	+
9	Эстетичность	-	+	+	-	-	+	-	-
10	Трудоемкость	+	+	+	+	+	+	+	+
11	Состояние ремонтируемой поверхности	+	+	+	-	-	-	-	-
12	Безопасность работ	-	-	+	-	-	-	+	-

Для оценивания параметров применяются шкалы наименований, порядка, интервальные, пропорциональные.

При использовании шкалы наименований указывается только одинаковы или нет объекты относительно измеряемого признака. Порядковые признаки сравниваются только по отношению "больше — меньше". Более точное оценивание предполагает увеличение количества значений. В этих случаях применяют интервальные шкалы.

Значения интервальной (балльной) шкалы представляют собой ограниченный дискретный ряд чисел с одинаковым интервалом. Для повышения точности оценивания количество значений необходимо увеличить, доводя его до максимально возможного. Достоинством указанного метода является простота выполнения работ. Однако при таком методе количеством исследуемых параметров не превышает 20.

Также следует отметить, что степень важности параметров не одинакова. Правильный анализ всех имеющихся факторов, а также возможных дефектов и повреждений позволяет продлить срок службы кровельной конструкции и избежать лишних затрат на ремонтные работы.

Для выдвижения предложений по совершенствованию технологии ремонта плоских кровель высотных зданий необходимо изучить недостатки существующих решений. То есть синтезируя различные достоинства тех или иных технологических решений, можно добиться улучшения параметров выполнения работ со значительно меньшими недостатками.

Таблица 2.4 – Недостатки технологических решений по ремонту кровель и возможные пути их устранения

№ п.п.	Технологическое решение	Недостатки	Пути устранения
1	Технологии восстановления монолитности кровли без замены слоев	Пожароопасность	Использовать оборудование и нагреватели с температурой греющей поверхности меньше, чем вспышка применяемых материалов
		Травмоопасность	Снижение электрического напряжения, применение средств защиты при работе на высоте
		Дождь	Защита оборудования от дождя
		Зимние условия производства работ, ветер	Снижение теплотерь
		Недолговечность отремонтированного слоя кровли	Ограничить доступ кислорода для предотвращения окисления материалов
		Габаритные размеры оборудования	Уменьшение размеров
2	Замена старой кровли	Неэкологичность технологий, большое количество битумосодержащих отходов	Применение отходов от разборки старой кровли для дальнейших работ
		Высокая стоимость	Замена не всех слоев
		Разрушение слоев кровли ввиду высокой эксплуатационной и ветровой нагрузки	Устройство защитных слоев, тщательный выбор применяемых материалов
		Отслоение материалов от основания	Увеличение адгезии бетонных оснований и кровельных материалов

Таким образом, совершенствование технологических решений, связанных с заменой старых слоев кровли, направлено на сокращение количества отходов, снижение материалоемкости, трудоемкости, стоимости, разработку усовершенствованного метода ремонта, повышение долговечности и качества кровли.

Возможна утилизация и переработка отходов, которые могут быть использованы для выравнивания поверхности. Важно помнить, что следует применять при ремонте кровли материалы, близкие по деформативным свойствам к ремонтируемой конструкции.

## 2.2 Анализ принципов выбора конструктивно-технологических решений при капитальном ремонте высотных зданий

Выбор рациональных технологических решений при капитальном ремонте высотных зданий необходимо производить при создании системы различных вариантов технологических, технических и организационных решений ремонтно-строительных работ, каждый из которых характеризуется конечным множеством оценочных показателей, которые в полной степени описывают приводимые варианты. Выбор наиболее подходящего варианта может осуществляться следующими методами:

- с учётом всех оценочных показателей, которые характеризуют сравниваемые варианты;
- с использованием критерия, который формируется по совокупности значений оценочных показателей [14].

Известно, что имеющиеся методы сравнения основываются на оценке вариантов по скалярному критерию. При оценке и выборе вариантов решений применение скалярного принципа имеет место в тех случаях, когда возможно обоснование важности и первоочередности одного из оценочных показателей, который характеризует тот или иной вариант.

При ремонте и реконструкции высотных зданий выбор наиболее подходящего варианта по всем оценочным показателям также не целесообразен. Поэтому наиболее удачным способом выбора рациональных решений по ремонту кровли является комплексная оценка вариантов технических и организационно-технологических решений.

Как показывает опыт, большинство кровель высотных зданий нуждаются в постоянном ремонте. Затраты на их обслуживание увеличиваются с каждым годом, а протечки могут появляться уже в самом начале эксплуатации.

Одной из причин быстрого износа конструкций может быть неправильно подобранные тип крыши и кровельные материалы.

Тогда выполнение капитального ремонта путем замены старой традиционной кровли на точно такую же окажется неэффективным, так как после ремонта появятся новые повреждения, приводящие к разрушению конструкции, и затем возникнет необходимость очередного ремонта.

В нашей работе в качестве приоритетного варианта капитального ремонта выбран вариант с полной заменой старой кровли как наиболее изученного и наиболее долговечного.

Капитальный ремонт в данном случае может предусматривать разборку старой традиционной кровли и устройство точной такой же конструкции с более совершенными материалами или разборку традиционной кровли и устройство кровли инверсионного типа.

Рассмотрим и сравним два возможных варианта по указанным ранее критериям.

#### 1) Трудоемкость

Подсчитаем трудоемкость работ при выполнении капитального ремонта кровли высотных зданий путем полной замены слоев.

Как видно из таблицы 2.5 затраты труда на устройство традиционной и инверсионной кровли при капитальном ремонте практически одинаковые, отличие составляет 5,7%.

Таблица 2.5 – Трудоемкость работ при капитальном ремонте кровли  
высотных зданий

№ п.п	ЕНиР	Выполняемые работы	Ед. изм.	Объем работ	Норма времен и на ед. изм., чел.-ч	Затраты труда на весь объем, чел.-ч.
Традиционная кровля						
1	Е20-1-107	Разборка кровли из рулонных материалов	100 м <sup>2</sup>	1	8,8	8,8
2	Е7-13	Устройство пароизоляции	100 м <sup>2</sup>	1	6,7	6,7
3	Е7-14	Устройство теплоизоляции из минераловатных плит	100 м <sup>2</sup>	1	18	18
4	Е7-13	Устройство разделительного слоя из полиэтиленовой пленки	100 м <sup>2</sup>	1	6,7	6,7
5	Е7-14	Устройство разуклонки из керамзита	100 м <sup>2</sup>	1	4,6	4,6
6	Е7-15	Цементно-песчаная стяжка	100 м <sup>2</sup>	1	21	21
7	Е7-4	Огрунтовка поверхности основания праймером вручную	100 м <sup>2</sup>	1	4,1	4,1
8	Е7-3	Устройство гидроизоляционного слоя из рулонных материалов	100 м <sup>2</sup> .	1	6,5	6,5
9	Е7-4	Гравийная засыпка	100 м <sup>2</sup>	1	6,3	6,3
Итого						82,7
Инверсионная кровля						
10	Е20-1-107	Разборка кровли из рулонных материалов	100 м <sup>2</sup>	1	8,8	8,8
11	Е7-13	Устройство пароизоляции	100 м <sup>2</sup>	1	6,7	6,7
12	Е7-14	Устройство разуклонки из керамзита	100 м <sup>2</sup>	1	4,6	4,6
13	Е7-15	Цементно-песчаная стяжка	100 м <sup>2</sup>	1	21	21
14	Е7-4	Огрунтовка поверхности основания праймером вручную	100 м <sup>2</sup>	1	4,1	4,1
15	Е7-3	Устройство гидроизоляционного слоя из рулонных материалов	100 м <sup>2</sup> .	1	6,5	6,5
16	Е7-14	Устройство теплоизоляции из экструзионного пенополистирола	100 м <sup>2</sup>	1	23	23
17	Е7-13	Укладка слоя геотекстиля	100 м <sup>2</sup>	1	6,7	6,7
18	Е7-4	Гравийная засыпка	100 м <sup>2</sup>	1	6,3	6,3
Итого						87,7

## 2) Долговечность

Согласно [6] срок службы традиционной кровли составляет 10-20 лет. Срок службы инверсионной кровли - примерно 40-50 лет. Следовательно, промежутки времени между капитальными ремонтами для инверсионной кровли увеличиваются в два раза. Увеличение срока службы конструкции достигается в первую очередь за счет того, что слой гидроизоляции оказывается защищен от воздействия механических нагрузок, излучения, атмосферных осадков, перепадов температур. На рисунке 2.2 показаны перепады температур в двух сравниваемых конструкциях кровли.

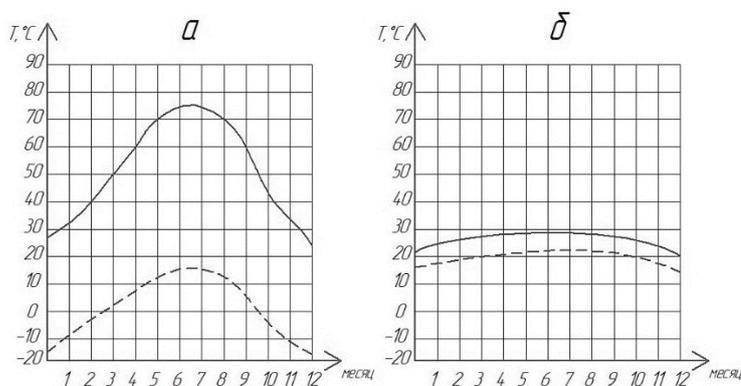


Рисунок 2.2 - Распределение температур на нижней и верхней поверхности кровли: а – традиционная кровля, б – инверсионная кровля

## 3) Стоимость

Для сравнения двух рассматриваемых вариантов был произведен расчет стоимости выполнения работ в текущих ценах на 100 м<sup>2</sup> покрытия. Следует отметить, что мы рассматриваем отдельно взятый кровельный пирог и его сметную стоимость без учета обделок, примыканий, водосточных систем. Результаты расчета представлены ниже.

Таблица 2.6 – Стоимость работ при капитальном ремонте на 100 м<sup>2</sup> покрытия

№ п.п.	Тип конструкции	Стоимость, руб	Срок службы, лет
1	Традиционная кровля	259 652,10	10-20
2	Инверсионная кровля	338 014,20	50

Традиционный вариант устройства кровли оказывается дешевле, однако следует помнить о сроке службы конструкции. Из него следует, что за один срок службы инверсионной кровли затраты на капитальный ремонт традиционной кровли следует увеличить вдвое.

#### 4) Нагрузка на кровлю

Как известно [27], с увеличением высоты существенно возрастает ветровая нагрузка, следовательно, конструкция кровли должна быть достаточно прочной и устойчивой к восприятию ветровых нагрузок, чтобы избежать разрушения материалов. Чаще всего причиной протечек кровли высотных зданий становятся повреждения гидроизоляционного ковра, в 40% случаев под влиянием ветровой нагрузки. В кровле инверсионного типа слой гидроизоляции расположен под утеплителем, поэтому он защищен от разрушительного влияния ветровой и эксплуатационной нагрузок, колебания температур.

Согласно [46] ветровая нагрузка определяется как:

$$W = W_m + W_p, \text{ кПа}, \quad (2.1)$$

где  $W_m$  – средняя составляющая ветрового давления;  $W_p$  – пульсационная составляющая.

В свою очередь средняя составляющая ветрового давления находится по формуле:

$$W_m = w_0 \cdot k(z_e) \cdot c, \text{ кПа}, \quad (2.2)$$

где  $w_0$  – нормативное значение;  $k(z_e)$  – коэффициент, зависящий от высоты,  $c$  – аэродинамический коэффициент.

Пульсационная составляющая:

$$W_p = W_m \cdot \zeta(z_e) \cdot v, \text{ кПа}, \quad (2.3)$$

где  $\zeta(z_e)$  – коэффициент пульсации,  $v$  – коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления.

Для наглядности покажем зависимость ветровой нагрузки от высоты.

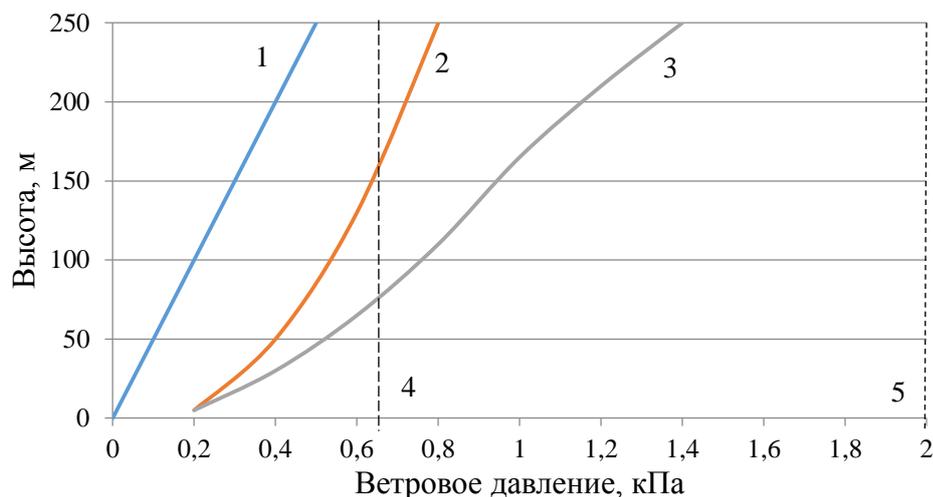


Рисунок 2.3 – Расчетная ветровая нагрузка в зависимости от высоты здания: 1 – средняя составляющая ветрового давления; 2 – пульсационная составляющая; 3 – суммарное ветровое давление; 4 – максимальная ветровая нагрузка для традиционной кровли; 5 – максимальная ветровая нагрузка для инверсионной кровли

Установлено, что инверсионная кровля способна выдерживать без каких-либо разрушений ветровую нагрузку до 2 кПа, в то время как для традиционной кровли данный показатель уменьшается до 0,7 кПа.

Также следует отметить, что при одинаковых климатических условиях (Самарская область) необходимая и достаточная толщина экструзионного пенополистирола для теплоизоляции инверсионной кровли составляет 120 мм, в то время как теплоизоляция из минераловатных плит для традиционной кровли должна иметь толщину не менее 180 мм. Следовательно, в инверсионной кровле уменьшается нагрузка от собственного веса конструкции.

Как было сказано выше, в случае устройства эксплуатируемых крыш инверсионная кровля также является приоритетным вариантом.

Таким образом, сравнивая традиционную и инверсионную кровлю по основным критериям, указанным в параграфе 2.1, можно сделать вывод, что инверсионная кровля обладает рядом значительных преимуществ в случае капитального ремонта высотных зданий.

## 2.3 Сравнительный анализ технико-экономических характеристик конструктивно-технологических решений при ремонте кровли высотных зданий

Для начала произведем теплотехнический расчет двух типов кровли. Расчет производится для климатических условий Самарской области. Характеристики и состав кровельного пирога представлен в таблицах 2.7, 2.8.

Для наглядности представим конструкцию в разрезе.

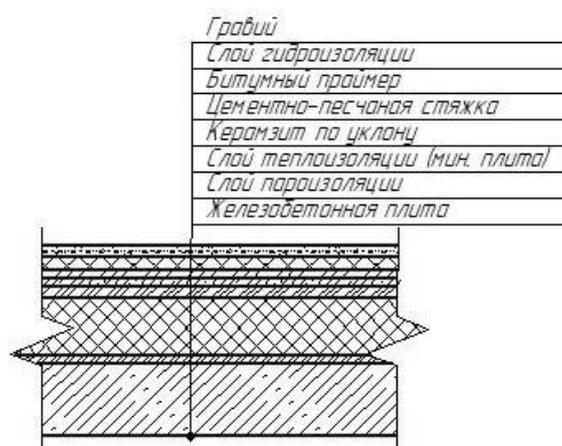


Рисунок 2.4 – Конструкция традиционной кровли

Таблица 2.7 - Данные для теплотехнического расчета традиционной кровли

№п.п	Слой	Толщина, м (δ)	Плотность, кг/м <sup>3</sup> (γ)	Коэф. Теплопр. Вт/(м·С) (λ)	Коэф. Паропрониц. Мг/(м·ч·Па)
1	Ж/б плита	0,2	2500	1,92	0,03
2	Подкровельная пароизоляционная пленка (Линокром)	0,003	1000	0,17	0,0001
3	Теплоизоляция из мин. плиты (Техноруп)	x	180	0,041	0,3
4	Керамзит	0,1	700	0,18	0,26
5	Цементно-песчаная стяжка	0,015	1800	0,75	0,09
6	Праймер Техно-Николь	0,001	1000	0,18	0,008
7	Водоизоляционный ковер (2 слоя, Техноэласт)	0,006	1000	0,16	0,008
8	Гравий	0,05	1500	0,58	0,11

Исходные данные (для Самарской области):

Зона влажности: сухая.

Влажностный режим помещений: нормальный.

Условия эксплуатации: А.

$R_{req} = 5,05 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$  [47, табл.3].

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_8}{\lambda_8} + \frac{1}{\alpha_{ext}}, \quad (2.4)$$

где  $R_0=R_{req}$ ;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности для каждого слоя;  $\delta$  – толщина этого слоя;

$\alpha_{int} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$  – коэффициент теплоотдачи (для внутренних поверхностей);

$\alpha_{ext} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$  – коэффициент теплоотдачи (для наружных поверхностей).

$$5,05 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{1,92} + \frac{0,003}{0,17} + \frac{x}{0,041} + \frac{0,1}{0,18} + \frac{0,015}{0,75} + \frac{0,001}{0,18} + 2 \cdot \frac{0,006}{0,16} + \frac{0,05}{0,58} + \frac{1}{23}$$

Находим  $x = 0,174 \text{ м}$ . Следовательно, выбираем из существующих материалов – минераловатную плиту толщиной 180 мм.

Окончательное сопротивление теплопередаче кровли  $R_0 = 5,186 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

Произведем аналогичный расчет для инверсионной кровли

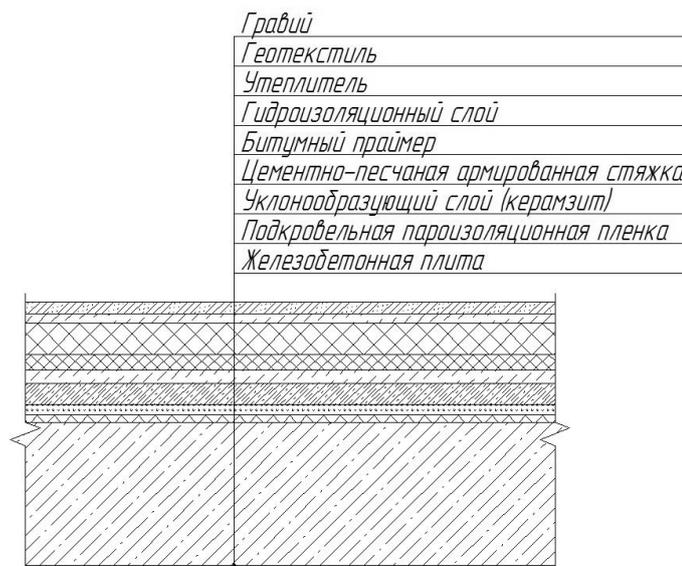


Рисунок 2.5 – Конструкция инверсионной кровли

Таблица 2.8 – Данные для теплотехнического расчета инверсионной кровли

№п.п	Слой	Толщина, м (δ)	Плотность, кг/м <sup>3</sup> (γ)	Коэф. Теплопр. Вт/(м·С) (λ)	Коэф. Паропрониц. Мг/(м·ч·Па)
1	Ж/б плита	0,2	2500	1,92	0,03
2	Подкровельная пароизоляционная пленка (Линокром)	0,003	1000	0,17	0,0001
3	Керамзит	0,1	700	0,18	0,26
4	Цементно-песчаная стяжка	0,015	1800	0,75	0,09
5	Праймер Техно-Николь	0,001	1000	0,18	0,008
6	Техноэласт ЭПП (2слоя)	0,006	1000	0,16	0,008
7	Экструзионный Пенополистирол (ТехноНиколь)	х	28	0,031	0,011
8	Геотекстиль	0,002	300	0,08	0,09
9	Гравий	0,1	1500	0,58	0,11

$$5,05 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{1,92} + \frac{0,003}{0,17} + \frac{0,1}{0,18} + \frac{0,015}{0,75} + \frac{0,001}{0,18} + 2 \cdot \frac{0,006}{0,16} + \frac{x}{0,031} + \frac{0,002}{0,08} + \frac{0,1}{0,58} + \frac{1}{23};$$

Находим  $x = 0,119$  м. Следовательно, выбираем из существующих материалов - пенополистирольную плиту толщиной 120 мм.

Таким образом, при таких же условиях толщина утеплителя в традиционной кровле составляет 180 мм.

Окончательное сопротивление теплопередаче кровли составляет  $R_0 = 5,379 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ .

Рассчитаем эффективность мероприятия по переустройству традиционной кровли в инверсионную с точки зрения затрат на отопление.

Рассмотрим конструктивные решения кровли на примере высотного здания.

Данные для расчета представлены в таблицах 2.9, 2.10.

Расчет производится для одного и того же здания с двумя различными типами кровли.

Таблица 2.9 – Характеристики здания

№ п.п.	Параметр	Обозначение	Ед. изм.	Количество
1	Высота	h	м	102
2	Общая площадь этажей	S <sub>эт</sub>	м <sup>2</sup>	15114,3
3	Жилая площадь	S <sub>ж</sub>	м <sup>2</sup>	9675,4
4	Отапливаемый объем	V <sub>от</sub>	м <sup>3</sup>	66151,6
5	Показатель компактности	K <sub>комп</sub>	м <sup>-1</sup>	0,21
6	Площадь наружных ограждения:	A <sub>н</sub>	м <sup>2</sup>	13590,25
	Фасадов	A <sub>ф</sub>	м <sup>2</sup>	7953,6
	Входных дверей	A <sub>дв</sub>	м <sup>2</sup>	15,25
	Перекрытия над подвалом	A <sub>пр</sub>	м <sup>2</sup>	520,7
	Покрытия	A <sub>покр</sub>	м <sup>2</sup>	520,7
	Окон , в том числе:	A <sub>ок</sub>	м <sup>2</sup>	4580,8
	- на север	A <sub>ок.с</sub>	м <sup>2</sup>	1327
	- на запад	A <sub>ок.з</sub>	м <sup>2</sup>	963
	- на восток	A <sub>ок.в</sub>	м <sup>2</sup>	963
	- на юг	A <sub>ок.ю</sub>	м <sup>2</sup>	1327

Показатель компактности рассчитан по формуле:

$$K_{\text{комп}} = \frac{A_{\text{н}}}{V_{\text{от}}}, \text{ м}^{-1} \quad (2.5)$$

$$K_{\text{комп}} = \frac{13590,25}{66151,6} = 0,21 \text{ м}^{-1}.$$

Таблица 2.10 – Теплотехнические показатели

№ п.п.	Сопротивление теплопередаче, м <sup>2</sup> °C/Вт	Нормируемое значение	Расчетное значение
1	Стен	3,4	3,74
2	Окон	0,49	0,51
3	Перекрытия над подвалом	1,45	1,51
4	Наружных дверей	0,79	0,9
5	Покрытия:		
	а) с традиционной кровлей	5,05	5,186
	б) с инверсионной кровлей	5,05	5,379

Количество тепловой энергии, затрачиваемой на отопление здания за год, находим по формуле:

$$Q_{\text{от}}^{\text{год}} = 0,024 \cdot G \cdot q_{\text{от}} \cdot V_{\text{от}}, \text{ кВт} \cdot \text{ч/год}, \quad (2.6)$$

где G – градусо-сутки отопительного периода;

q<sub>от</sub> – расчетный удельный параметр расходуемой тепловой энергии.

$$G = (t_{\text{в}} - t_{\text{от}}) \cdot z_{\text{от}}, \text{ °C} \cdot \text{сут/год}, \quad (2.7)$$

где  $t_{от}$  – средняя температура отопительного периода ( $-5,2^{\circ}\text{C}$ );

$z_{от}$  – длительность отопительного периода (203 сут/год).

$$G = (22 - (-5,2)) \cdot 203 = 5521,6 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{сут/год} \quad .$$

$$q_{от} = [k_{об} + k_{вент} - (k_{быт} + k_{рад}) \cdot \nu \cdot \zeta] \cdot (1 - e) \cdot \beta_h, \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}), \quad (2.8)$$

где  $k_{об}$  – удельный параметр теплозащиты здания,  $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;

$k_{вент}$  – удельный параметр вентиляции здания,  $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;

$k_{быт}$  – удельный параметр бытовых тепловыделений,  $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;

$k_{рад}$  – удельный параметр теплопоступлений от солнечной радиации,  $\text{Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;

$\zeta$  – коэффициент, показывающий эффективность авторегулирования системы отопления (0,95);

$\beta_h$  – коэффициент, учитывающий дополнительные потери в системе отопления (1,11 для зданий башенного типа);

$e$  – коэффициент, который учитывает снижение теплопотерь в случае поквартирного учета (0,1);

$\nu$  – коэффициент, который учитывает снижение теплопотерь.

$$\nu = 0,7 + 0,000025 \cdot (G - 1000) \quad (2.9)$$

$$\nu = 0,7 + 0,000025 \cdot (5521,6 - 1000) = 0,813.$$

$$k_{об} = K_{комп} \cdot K_{общ}, \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}), \quad (2.10)$$

где  $K_{общ}$  – коэффициент теплопередачи всего здания.

$$K_{общ} = \frac{1}{\sum A_n} \cdot \left( \frac{A_{фас}}{R_{ст}} + \frac{A_{ок}}{R_{ок}} + \frac{A_{дв}}{R_{дв}} + \frac{A_{пр}}{R_{пр}} + \frac{A_{покр}}{R_{покр}} \right), \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}) \quad (2.11)$$

а) для традиционной кровли:

$$K_{общ} = \frac{1}{13590,25} \cdot \left( \frac{7953,6}{3,74} + \frac{4580}{0,51} + \frac{15,25}{0,9} + \frac{520,7}{1,51} + \frac{520,7}{5,186} \right) = 0,87 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$$

$$k_{об} = 0,21 \cdot 0,87 = 0,1827 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$$

б) для инверсионной кровли:

$$K_{общ} = \frac{1}{13590,25} \cdot \left( \frac{7953,6}{3,74} + \frac{4580}{0,51} + \frac{15,25}{0,9} + \frac{520,7}{1,51} + \frac{520,7}{5,379} \right) = 0,85 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$$

$$k_{об} = 0,21 \cdot 0,85 = 0,1785 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C})$$

$$k_{вент} = 0,28 \cdot c \cdot \beta_v \cdot \rho^{вент} \cdot (1 - k_{эф}), \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C}), \quad (2.12)$$

где  $c$  – теплоемкость воздуха ( $1 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{°C})$ );

$\beta_v$  – коэффициент, который учитывает снижение объема воздуха ( $0,85$ );

$\rho^{вент}$  – среднее значение плотности приточного воздуха за отопительный период;

$k_{эф}$  – коэффициент эффективности регулирования отопления ( $0,4$ ).

$$\rho^{вент} = \frac{353}{273 + t_{от}} = \frac{353}{273 + (-5,2)} = 1,318 \text{ кг}/\text{м}^3 \quad (2.13)$$

$$k_{вент} = 0,28 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 1,318 \cdot (1 - 0,4) = 0,188 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C}).$$

$$k_{быт} = \frac{q_{быт} \cdot S_{ж}}{V_{от} \cdot (t_b - t_{от})}, \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C}), \quad (2.14)$$

где  $q_{быт}$  – количество бытовых тепловыделений ( $17 \text{ Вт}/\text{м}^2$ ).

$$k_{быт} = \frac{17 \cdot 9675,4}{66151,6 \cdot (22 - (-5,2))} = 0,09 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C})$$

$$k_{рад} = \frac{11,6 \cdot Q_{рад}^{год}}{V_{от} \cdot G}, \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C}), \quad (2.15)$$

где  $Q_{рад}^{год}$  – тепlopоступления через окна.

$$Q_{рад}^{год} = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot (A_{ок1} \cdot J_1 + A_{ок2} \cdot J_2 + A_{ок3} \cdot J_3 + A_{ок4} \cdot J_4), \text{ МДж}/\text{год}, \quad (2.16)$$

где  $\tau_1$  – коэффициент, характеризующий проникновение солнечной радиации ( $0,68$ );

$\tau_2$  – коэффициент, который учитывает затенение проемов элементами заполнения ( $0,8$ );

$J$  – среднее количество солнечной радиации за отопительный период:

$J_Ю = 1598 \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ,  $J_С = 614 \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ,  $J_В = 954 \text{ МДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ .

$$Q_{рад}^{год} = 0,68 \cdot 0,8 \cdot (1327 \cdot 614 + 963 \cdot 954 + 963 \cdot 954 + 1327 \cdot 1598) = \\ = 2596364 \text{ МДж}/\text{год}$$

$$k_{рад} = \frac{11,6 \cdot 2596364}{66151,6 \cdot 5521,6} = 0,082 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C})$$

Окончательно найдем количество тепловой энергии, затрачиваемой на отопление здания за год:

$$a) \quad q_{от} = [0,1827 + 0,188 - (0,09 + 0,082) \cdot 0,813 \cdot 0,95] \cdot (1 - 0,1) \cdot 1,11 = 0,238 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C})$$

$$Q_{от}^{год} = 0,024 \cdot 5521,6 \cdot 66151,6 \cdot 0,238 = 2086381 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{год}$$

$$b) \quad q_{от} = [0,1785 + 0,188 - (0,09 + 0,082) \cdot 0,813 \cdot 0,95] \cdot (1 - 0,1) \cdot 1,11 = 0,233 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{°C})$$

$$Q_{от}^{год} = 0,024 \cdot 5521,6 \cdot 66151,6 \cdot 0,233 = 2042548 \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{год}$$

Таким образом, экономия тепловой энергии составляет 43833 кВт·ч/год. Принимая тариф по Самарской области, равный 3,84 руб/кВт·ч, рассчитаем экономию в денежном эквиваленте:

$$C = \Delta Q_{от}^{год} \cdot T = 43833 \cdot 3,84 = 168318,72 \text{ руб} \quad (2.17)$$

Таблица 2.11 – Годовые затраты на отопление жилого высотного здания

№ п.п.	Конструкция покрытия	Расход тепловой энергии, кВт·ч	Затраты на отопление, руб
1	Традиционная кровля	2086381	8011703,04
2	Инверсионная кровля	2042548	7843384,32

Таким образом, инверсионная кровля позволяет сократить затраты на отопление зданий (на 2,2% меньше традиционной кровли). В связи с государственными программами по повышению энергетической эффективности зданий и сооружений, данный фактор играет большую роль при выборе типа конструкции кровли. Подводя итоги 2 главы, обобщим все указанные характеристики в табличной форме.

Таблица 2.12 – Характеристики сравниваемых типов кровель

№ п.п.	Параметр	Ед. изм.	Инверсионная	Традиционная
1	Толщина утеплителя	м	120	180
2	Сопротивление теплопередаче	м <sup>2</sup> ·°C/Вт	5,379	5,186
3	Сметная стоимость (на 100 м <sup>2</sup> )	руб	338 014,20	259 652,10
4	Трудоемкость (на 100 м <sup>2</sup> )	чел·ч	87,7	82,7
5	Выдерживаемая нагрузка ветрового давления	кПа	2	0,7
6	Срок службы	лет	50	20

Следовательно, таблица 2.12 позволяет сделать окончательный вывод, что для высотных зданий инверсионная кровля превосходит традиционную по большинству параметров и является наиболее приоритетным вариантом. Однако одним из главных недостатков инверсионной кровли является ее высокая стоимость.

### 3 Совершенствование конструктивно-технологических решений по устройству кровель при капитальном ремонте высотных зданий

#### 3.1 Предложения по конструктивному устройству кровель высотных зданий

В предыдущей главе было произведено сравнение традиционной и инверсионной кровли. В качестве наиболее оптимального варианта для высотных зданий была выбрана инверсионная кровля.

Подробнее рассмотрим строение и состав инверсионной кровли.

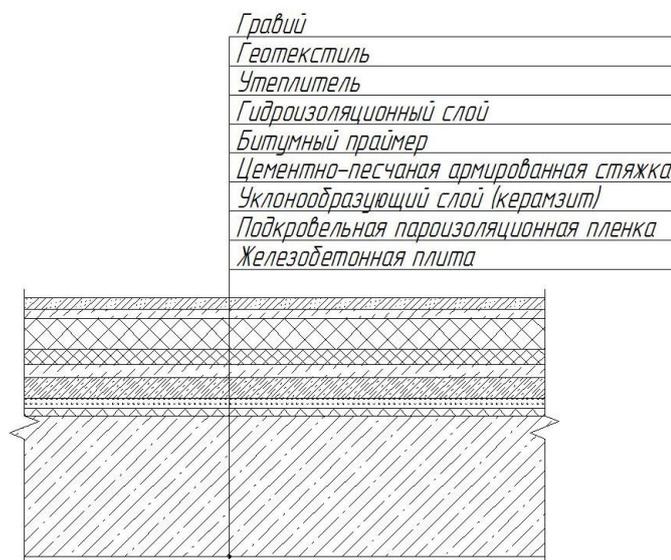


Рисунок 3.1 – Структура инверсионной кровли

Как было отмечено ранее, одним из недостатков данного решения является его дороговизна.

Уменьшение стоимости конструкции достигается путем исключения из кровельного пирога пароизоляционного слоя.

Так как гидроизоляционный слой расположен под утеплителем, точка росы смещается выше, и необходимость в устройстве пароизоляции отпадает.

Рассмотрим инверсионную кровлю без слоя пароизоляции. Для подтверждения нашего предположения проведем расчет на образование конденсата, предварительно рассчитав толщину утеплителя.

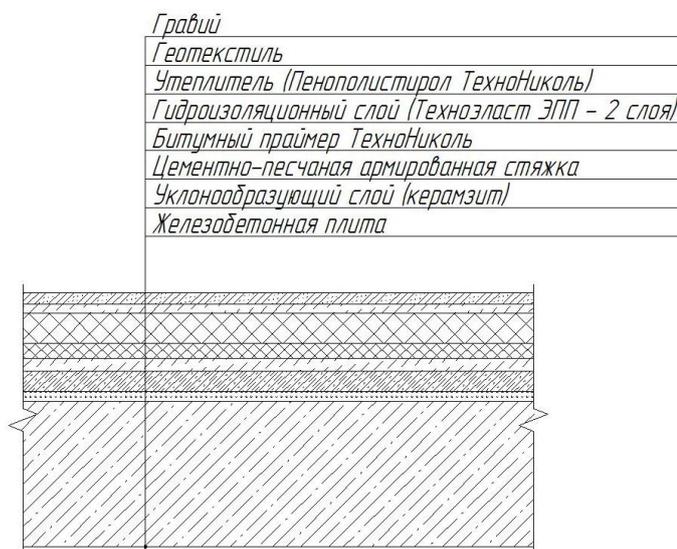


Рисунок 3.2 – Инверсионная кровля без пароизоляции

Таблица 3.1 – Данные для теплотехнического расчета кровли

№п.п	Слой	Толщина, м (δ)	Плотность, кг/м <sup>3</sup> (γ)	Коэф. Теплопр. Вт/(м·С) (λ)	Коэф. Паропрониц. Мг/(м·ч·Па)
1	Ж/б плита	0,2	2500	1,92	0,03
2	Керамзит	0,1	700	0,18	0,26
3	Цементно-песчаная стяжка	0,015	1800	0,75	0,09
4	Праймер Техно-Николь	0,001	1000	0,18	0,008
5	Техноэласт ЭПП (2слоя)	0,006	1000	0,16	0,008
6	Пенополистирол ТехноНиколь	X	28	0,031	0,011
7	Геотекстиль	0,002	300	0,08	0,09
8	Гравий	0,1	1500	0,58	0,11

Исходные данные (для Самарской области):

Зона влажности: сухая.

Влажностный режим помещений: нормальный.

Условия эксплуатации: А.

$R_{req} = 5,05 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$  [47, табл.3].

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{\text{int}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_8}{\lambda_8} + \frac{1}{\alpha_{\text{ext}}}; \quad (3.1)$$

где  $R_0=R_{\text{req}}$ ;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности для каждого слоя;  $\delta$  – толщина этого слоя;

$\alpha_{\text{int}} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$  – коэффициент теплоотдачи (для внутренних поверхностей);

$\alpha_{\text{ext}} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$  – коэффициент теплоотдачи (для наружных поверхностей).

$$5,05 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{1,92} + \frac{0,1}{0,18} + \frac{0,015}{0,75} + \frac{0,001}{0,18} + 2 \cdot \frac{0,006}{0,16} + \frac{x}{0,031} + \frac{0,002}{0,08} + \frac{0,1}{0,58} + \frac{1}{23}$$

Отсюда  $x = 0,1196 \text{ м}$ . Следовательно, выбираем плиту из экструзионного пенополистирола толщиной 120 мм.

Окончательное сопротивление теплопередаче кровли  $R_0 = 5,365 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}$ .

Следует отметить, что аналогичный расчет со слоем пароизоляции показал, что необходимая толщина утеплителя составляет 0,119 м, что также соответствует толщине плит 120 мм.

Далее определим распределение температур в толще конструкции.

Температуру находим по формуле:

$$\tau_i = t_{\text{int}} - \frac{(t_{\text{int}} - t_{\text{ext}})}{R_0} \cdot (R_{\text{int}} + R_{i-1}), ^\circ\text{С}, \quad (3.2)$$

где  $t_{\text{int}} = 22^\circ\text{С}$  – расчетная температура для внутреннего воздуха;

$t_{\text{ext}} = -30^\circ\text{С}$  – расчетная температура для наружного воздуха.

1) Температура на внутренней поверхности кровли:

$$\tau_1 = \tau_{\text{int}} = 22 - \frac{(22 - (-30))}{5,365} \cdot \left(\frac{1}{8,7}\right) = 20,85^\circ\text{С}.$$

2) Температура на внутренней поверхности 2-го слоя:

$$\tau_1 = \tau_{\text{int}} = 22 - \frac{(22 - (-30))}{5,365} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{1,92}\right) = 19,8^\circ\text{С}.$$

3) Температура на внутренней поверхности 3-го слоя:

$$\tau_1 = \tau_{\text{int}} = 22 - \frac{(22 - (-30))}{5,365} \cdot \left(\frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{1,92} + \frac{0,1}{0,18}\right) = 14,22^\circ\text{С}.$$

4) Температура на внутренней поверхности 4-го слоя:

$$\tau_1 = \tau_{\text{int}} = 22 - \frac{(22 - (-30))}{5,365} \cdot \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{1,92} + \frac{0,1}{0,18} + \frac{0,02}{0,75} \right) = 13,96 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

5) Температура на внутренней поверхности 5-го слоя:

$$\tau_1 = \tau_{\text{int}} = 22 - \frac{(22 - (-30))}{5,365} \cdot \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{1,92} + \frac{0,1}{0,18} + \frac{0,15}{0,75} + \frac{0,001}{0,18} \right) = 13,86 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

6) Температура на внутренней поверхности 6-го слоя:

$$\tau_1 = \tau_{\text{int}} = 22 - \frac{(22 - (-30))}{5,365} \cdot \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{1,92} + \frac{0,1}{0,18} + \frac{0,15}{0,75} + \frac{0,001}{0,18} + 2 \cdot \frac{0,006}{0,16} \right) = 13,1 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

7) Температура на внутренней поверхности 7-го слоя:

$$\tau_1 = \tau_{\text{int}} = 22 - \frac{(22 - (-30))}{5,365} \cdot \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{1,92} + \frac{0,1}{0,18} + \frac{0,15}{0,75} + \frac{0,001}{0,18} + 2 \cdot \frac{0,006}{0,16} + \frac{0,12}{0,031} \right) = -27,3 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

8) Температура на внутренней поверхности 8-го слоя:

$$\tau_1 = \tau_{\text{int}} = 22 - \frac{(22 - (-30))}{5,365} \cdot \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{1,92} + \frac{0,1}{0,18} + \frac{0,015}{0,75} + \frac{0,001}{0,18} + 2 \cdot \frac{0,006}{0,16} + \frac{0,12}{0,031} + \frac{0,002}{0,08} \right) = -27,5 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

9) Температура на внутренней поверхности 9-го слоя:

$$\tau_1 = \tau_{\text{int}} = 22 - \frac{(22 - (-30))}{5,365} \cdot \left( \frac{1}{8,7} + \frac{0,2}{1,92} + \frac{0,1}{0,18} + \frac{0,015}{0,75} + \frac{0,001}{0,18} + 2 \cdot \frac{0,006}{0,16} + \frac{0,12}{0,031} + \frac{0,002}{0,08} + \frac{0,1}{0,58} \right) = -27,9 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Также проверим температурный перепад в конструкции:

$$\Delta t_0 = \frac{n \cdot (t_{\text{int}} - t_{\text{ext}})}{R_0 \cdot \alpha_{\text{int}}}, \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (3.3)$$

где  $n$  – коэффициент, который учитывает положение наружной поверхности конструкции по отношению к наружному воздуху.

$$\Delta t_0 = \frac{1 \cdot (22 + 30)}{5,365 \cdot 8,7} = 1,11 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$\Delta t_n = 3^\circ\text{C}$  – температурный нормируемый перепад [47, табл. 5].

$\Delta t_0 < \Delta t_n$ . Следовательно, перепад температур в толще конструкции находится в пределах нормы.

И, наконец, рассчитаем распределение парциального давления внутри слоев, чтобы определить возможность выпадения конденсата.

Сопротивление паропрооницанию:

$$R_{vp} = R_{intp} + \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\mu_n} + R_{extp}, \quad (3.4)$$

где  $\mu$  – коэффициент паропрооницания для каждого слоя;

$\delta$  - толщина этого слоя.

$$R_{vp} = 0,00266 + \frac{0,2}{0,03} + \frac{0,1}{0,26} + \frac{0,015}{0,09} + \frac{0,001}{0,008} + 2 \cdot \frac{0,006}{0,008} + \frac{0,12}{0,011} + \frac{0,002}{0,09} + \frac{0,1}{0,11} + 0,00133 = 18,2 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/мг}$$

Согласно [48, прил.С] при помощи интерполяции найдем максимальное давление пара, характерное для температуры каждого слоя кровли.

Таблица 3.2 – Значения давления пара в зависимости от температуры

$\tau_{int}$	$\tau_1$	$\tau_2$	$\tau_3$	$\tau_4$	$\tau_5$	$\tau_6$	$\tau_7$	$\tau_8$	$\tau_9$	$\tau_{ext}$
22	20,85	19,8	14,22	13,96	13,86	13,1	-27,3	-27,5	-27,9	-30
$E_{int}$	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$	$E_6$	$E_7$	$E_8$	$E_9$	$E_{ext}$
2644	2465,5	2349,8	1622,3	1594,9	1584,7	1507,2	49,2	48	47,2	38

Вычисляем значения парциального давления водяного пара на границе всех слоев кровельной конструкции:

$$e_i = e_{int} - \frac{e_{int} - e_{ext}}{R_{vp}} \cdot (R_{intp} + R_{(i-1)p}), \text{ Па} \quad (3.5)$$

$$e_{int} = \frac{\varphi_{int} \cdot E_{int}}{100} = \frac{55 \cdot 2644}{100} = 1454,2 \text{ Па} \quad (3.6)$$

$$e_{\text{ext}} = \frac{\varphi_{\text{ext}} \cdot E_{\text{ext}}}{100} = \frac{84 \cdot 38}{100} = 31,92 \text{ Па}, \quad (3.7)$$

где  $e_{\text{int}} = 55\%$  – влажность воздуха для помещений жилых зданий;

$e_{\text{ext}} = 84\%$  – влажность наружного воздуха.

$$e_1 = e_{\text{int}} = 1454,2 \text{ Па.}$$

$$e_2 = 1454,2 - \frac{1454,2 - 31,92}{18,2} \cdot \left(0,00266 + \frac{0,2}{0,03}\right) = 932,93 \text{ Па.}$$

$$e_3 = 1454,2 - \frac{1454,2 - 31,92}{18,2} \cdot \left(0,00266 + \frac{0,2}{0,03} + \frac{0,1}{0,26}\right) = 903,24 \text{ Па.}$$

$$e_4 = 1454,2 - \frac{1454,2 - 31,92}{18,2} \cdot \left(0,00266 + \frac{0,2}{0,03} + \frac{0,1}{0,26} + \frac{0,015}{0,09}\right) = 886,05 \text{ Па.}$$

$$e_5 = 1454,2 - \frac{1454,2 - 31,92}{18,2} \cdot \left(0,00266 + \frac{0,2}{0,03} + \frac{0,1}{0,26} + \frac{0,015}{0,09} + \frac{0,001}{0,008}\right) = 876,28 \text{ Па.}$$

$$e_6 = 1454,2 - \frac{1454,2 - 31,92}{18,2} \cdot \left(0,00266 + \frac{0,2}{0,03} + \frac{0,1}{0,26} + \frac{0,015}{0,09} + \frac{0,001}{0,008} + 2 \cdot \frac{0,006}{0,008}\right) = 759,06 \text{ Па.}$$

$$e_7 = 1454,2 - \frac{1454,2 - 31,92}{18,2} \cdot \left(0,00266 + \frac{0,2}{0,03} + \frac{0,1}{0,26} + \frac{0,015}{0,09} + \frac{0,001}{0,008} + 2 \cdot \frac{0,006}{0,008} + \frac{0,12}{0,011}\right) = 45,37 \text{ Па.}$$

$$e_8 = 1454,2 - \frac{1454,2 - 31,92}{18,2} \cdot \left(0,00266 + \frac{0,2}{0,03} + \frac{0,1}{0,26} + \frac{0,015}{0,09} + \frac{0,001}{0,008} + 2 \cdot \frac{0,006}{0,008} + \frac{0,12}{0,011} + \frac{0,002}{0,09}\right) = 36,72 \text{ Па.}$$

$$e_9 = 1454,2 - \frac{1454,2 - 31,92}{18,2} \cdot \left(0,00266 + \frac{0,2}{0,03} + \frac{0,1}{0,26} + \frac{0,015}{0,09} + \frac{0,001}{0,008} + 2 \cdot \frac{0,006}{0,008} + \frac{0,12}{0,011} + \frac{0,002}{0,09} + \frac{0,1}{0,11}\right) = 32,65 \text{ Па.}$$

Построим график, показывающий вероятность выпадения конденсата в конструкции.

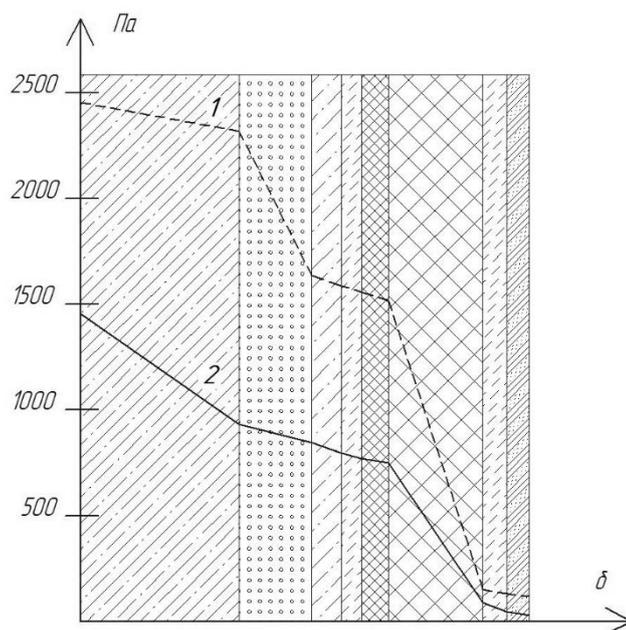


Рисунок 3.3 – Распределение парциального давления пара в инверсионной кровле:

1 – максимально допустимое давление пара в конструкции; 2 – расчетное давление пара.

Как видно из рисунка 3.3, все величины  $e_i$  меньше  $E_i$ , линии не пересекаются. Данный факт означает, что вероятность возникновения конденсата в кровле практически сводится к нулю.

Следовательно, отказ от пароизоляционного слоя в конструкции инверсионной кровли не ведет к образованию конденсата. В данном случае гидроизоляционный слой выполняет функции и пароизоляции.

Средняя цена за  $1 \text{ м}^2$  пароизоляционного слоя приведена ниже:

Таблица 3.3 – Стоимость пароизоляционных материалов

№ п.п.	Наименование, производитель	Цена за $\text{м}^2$
1	Elkatek Extra	63,7
2	Elkatek 150	41,5
3	Ютафол	40,5
4	ТехноНиколь	30,5

Отсюда следует, что исключение пароизоляции из конструкции инверсионной кровли позволяет сэкономить в среднем 44 руб. за 1 м<sup>2</sup>, без учета стоимости работ и накладных расходов (см. 3.3).

### 3.2 Предложения по технологии производства кровельных работ

Рассмотрим технологию проведения капитального ремонта кровли высотного здания с учетом принятых изменений.

1) Первым этапом при проведении работ по-прежнему является демонтаж старого покрытия. Как было сказано, большинство кровель выполнено в традиционном исполнении с применением битумных рулонных материалов.

В последнее время остро встает вопрос утилизации мусора, получаемого от разбора старых кровель. Средний вес 1 м<sup>2</sup> нового рубероида составляет 1,7 кг. В случае старых покрытий эта цифра увеличивается, так как конструкция крыши включает в себя несколько слоев (4-6) намокшего материала, отсюда следует, что вес получаемых отходов может увеличиваться до 10-20 кг/м<sup>2</sup>.

При проведении капитального ремонта старые рулонные материалы должны быть утилизированы. Как показывает практика, чаще всего они просто доставляются на специализированные полигоны или свалки, являясь при этом источником загрязнения окружающей среды.

Решение данной проблемы было предложено в г. Калининграде компанией «Инэковир». На данный момент подобные решения появляются и в других регионах России, однако широкого распространения указанная технология пока что не получила.

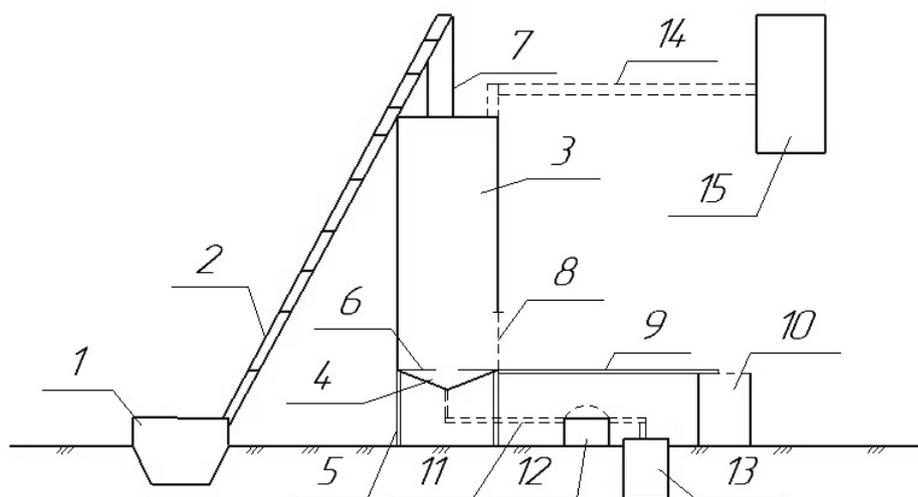


Рисунок 3.4 – Установка для переработки кровельных отходов:

1 – бункер для приема старых материалов; 2 – конвейер для их подачи; 3 – печь для расплава битума; 4 – днище; 5 – опоры; 6 – решетка; 7 – загрузочный отсек; 8 – разгрузочный отсек; 9 – конвейер, в котором удаляется картонная основа рулонного материала; 10 – бункер для складирования основы материалов; 11 – трубопровод для откачивания битума; 12 – битумный насос; 13 – бункер для битума; 14 – трубопровод для удаления получающихся газообразных отходов; 15 – установка очистки

На данный момент разрабатываются мобильные установки для переработки кровельных отходов, которые поднимаются на крышу при помощи подъемников, однако целесообразность их применения не обоснована с экологической точки зрения.

В результате такой переработки получается разнообразная продукция: битум, мастики, материалы, используемые в дорожном строительстве, полимерные материалы.

Установлено, что себестоимость получаемого таким образом битума составляет около 3500 рублей за тонну (при аналогичной рыночной цене до 25 000 рублей), себестоимость наплавляемых материалов около 600 рублей за рулон (при аналогичной рыночной цене 1500 рублей).

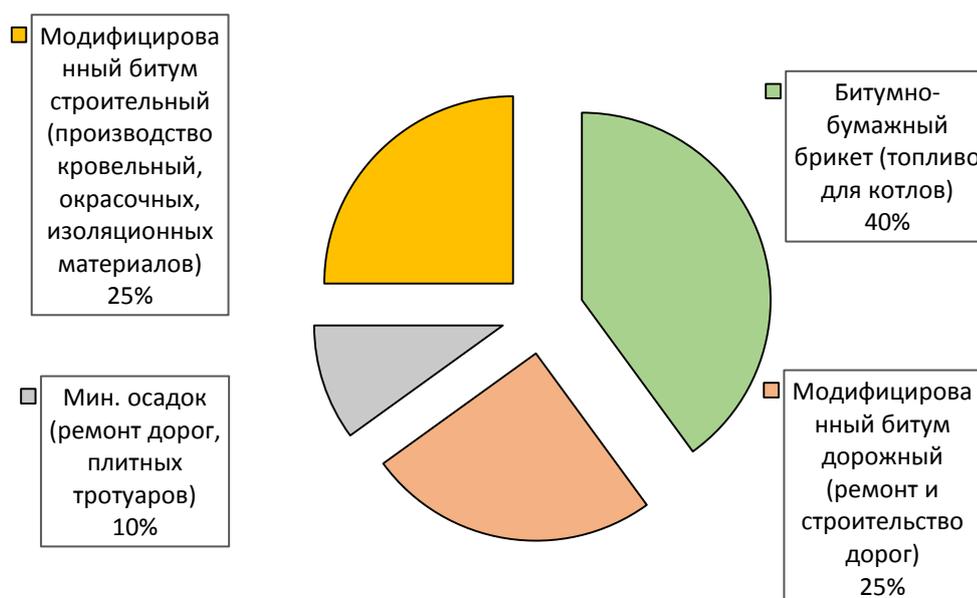


Рисунок 3.5 – Варианты использования переработанных кровельных отходов

2) После демонтажа старого кровельного пирога необходимо тщательно подготовить основание, очистить его от мусора. Имеющиеся неровности и дефекты основания устраняют при помощи цементно-песчаного раствора. Также перед началом работ по инвентированию традиционной кровли следует устроить парапет по всему периметру высотой не менее 500 мм. При этом все поверхности парапета необходимо изолировать.

3) Следом выполняют разуклонку. Чаще всего для этих целей применяется гравий. Установлено, что рекомендуемый уклон инверсионной кровли должен быть 2,5-5 %. После покрытие выравнивают при помощи цементно-песчаной стяжки. Стяжку выполняют полосами, ширина которых не более 3 м, с использованием реек. Для улучшения дальнейшего сцепления материалов применяют специальные грунтовочные составы (например, битумная мастика Техно-Николь).

4) Следующим этапом устраивают гидроизоляционный ковер из одного или чаще всего двух слоев. В нашем варианте кровли он также выполняет и функции пароизоляции, как было указано в главе 3.1. В инверсионной кровле слой гидроизоляции защищен от внешних

разрушающих факторов, поэтому необходимость в применении дорогих, сверхпрочных материалов отпадает.

Однако необходимо тщательно следить за соблюдением технологии работ, так как неправильный монтаж гидроизоляционного слоя может привести к протечкам, которые достаточно тяжело устранимы.

В инверсионной кровле гидроизоляционный ковер удерживается на месте слоем вышележащего утеплителя, а также весом балласта. Поэтому дополнительное крепление требуется лишь в местах примыканий к парапетам, стенам, воронкам (шаг не более 350 мм). Во всех местах примыканий основной гидроизоляционный ковер закрывается дополнительными слоями, закрепленными на вертикальных поверхностях, а кромки дополнительных слоев - металлическими фартуками.

Перед устройством слоя гидроизоляции должны быть произведены следующие мероприятия: наклейка дополнительного слоя материала размером не менее 0,5х0,5м в месте расположения водоприемной воронки и устройство самой воронки.

5) После устройства гидроизоляционного ковра приступают к укладке теплоизоляционных плит. Слой теплоизоляции оказывается подвержен наибольшему механическому воздействию, воздействию внешней среды, поэтому выбор теплоизоляционного материала является наиболее важным моментом при устройстве инверсионной кровли. Инверсионная кровля предъявляет высокие требования к прочности утеплителя, в случае эксплуатируемой кровли имеет место распространение корневой системы вглубь конструкции, и, следовательно, разрушение утеплителя. Крепление материала предусматривается балластным методом, то есть поверх теплоизоляции укладываются дренирующие, разделительные слои и слой гравия. Вес слоев балласта зависит от ветровой нагрузки и не должен быть менее 50 кг/м<sup>2</sup>. Укладку теплоизоляционных плит производят, как правило, в направлении «на себя», чтобы уменьшить повреждения плит в процессе их монтажа.

В данном случае самым рациональным вариантом является экструзионный пенополистирол. Это жесткий материал, который обладает закрытой ячеистой структурой. Диаметр ячеек составляет 0,1-0,2 мм. Получают его путем экструзии полистирола с добавкой пенящихся компонентов.

Процесс изготовления материала состоит в следующем: гранулы полистирола смешиваются с добавками (например, в качестве добавок могут выступать красители), после этого происходит их плавление и тщательное перемешивание в экструдере, затем в полученную смесь под высоким давлением вводится газообразный вспениватель. Полученная смесь продавливается через экструдер и охлаждается, после этого ее можно нарезать на плиты необходимых форм и размеров.

Плотность экструзионного пенополистирола составляет 25-45 кг/м<sup>3</sup>. Материал обладает малым водопоглощением (0,2-0,4%), хорошими теплоизоляционными свойствами, его теплопроводность составляет 0,031 Вт/(м·°С). Следует отметить, что чем меньше теплопроводность, тем лучше теплоизолирующие свойства, отсюда повышается энергоэффективность здания в целом, снижаются потери на отопление зданий, что также очень важно в условиях развивающихся государственных программ и направлений по повышению энергоэффективности зданий. Рассмотрим основных производителей пенополистирола и характеристики материала, а также характеристики материала с добавлением графита.

Таблица 3.4 – Характеристики экструзионного пенополистирола

№ п.п.	Параметр	Styrofoam	Roofmate	ТехноНиколь	Ursa	Теплекс
1	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	28	32	28-30	30	32
2	Коэф. Теплопроводности, Вт/м°С	0,030	0,029	0,028-0,031	0,032	0,032
3	Модуль упругости,	10	12	17	14	12
4	Прочность на сжатие, кПа	250	300	300	250	250

Продолжение таблицы 3.4

5	Паропроницаемость, Мг/м.ч.Па	0,006	0,006	0,01	0,008	0,006
6	Минимальная / Максимальная температура, °С	-70; 75	-70; 75	-70; 75	-70; 75	-70; 75
7	Водопоглощение, %	1,5	0,2	0,2	0,3	0,5
8	Стоимость м <sup>3</sup> , руб.	5600	5200	5500	4200	4800

К недостаткам названного материала можно отнести его плохую паропроницаемость и горючесть. В качестве альтернативы предлагается использовать экструзионный пенополистирол с добавлением наночастиц, например, графита. Как показывают исследования, применение графита позволяет увеличить прочность материала, что особенно актуально для эксплуатируемых кровель высотных зданий, а также улучшает теплоизоляционные свойства.

Следует отметить, что графит работает как УФ-стабилизатор. Как показано в главе 2, солнечное УФ-излучение оказывает большое влияние на разрушение кровельного пирога, поэтому стабильность пенополистирола с добавлением графита важна и актуальна для регионов с жарким климатом.

Получаемый материал обладает малым диаметром ячеек, небольшой толщиной стенок. Отмечается, что добавление графита приводит к повышению прочности и модуля упругости.

Таблица 3.5 – Свойства экструзионного пенополистирола с добавлением частиц графита

№ п.п.	Параметр	Экструзионный пенополистирол ТехноНиколь	Экструзионный пенополистирол с частицами графита
1	Коэф. теплопроводности, Вт/м°С	0,028-0,030	0,027
2	Прочность на сжатие, кПа	300	600
3	Паропроницаемость, Мг/м.ч.Па	0,01	0,015
4	Водопоглощение, %	0,2	0,1

б) После теплоизоляции кладется слой геотекстиля, который предназначен для предотвращения распространения корневой системы в утеплитель, а также попадания мелких частичек сквозь ячейки утеплителя и дальнейшего повреждения гидроизоляции. Нахлесты свариваются. Далее

насыпается гравий толщиной 5-6 см, который служит балластом и препятствует поднятию утеплителя, а также является дополнительной защитой.

В зависимости от назначения поверх могут устраиваться тротуарные или асфальтобетонные покрытия для дальнейшего использования пространства крыши. Это расширяет функциональные возможности зданий, а также может приносить дополнительный доход, например, в случае устройства там смотровых площадок. Однако необходимо учитывать несущую способность основания.

7) Важным вопросом при устройстве инверсионной кровли является вопрос отвода воды с поверхности крыши. Так как мы отказываемся от слоя пароизоляции, необходимо продумать отвод воды как с поверхности, так и со слоя гидроизоляции во избежание появления лишней влаги.

В нашем варианте предлагается устраивать двухуровневую воронку.

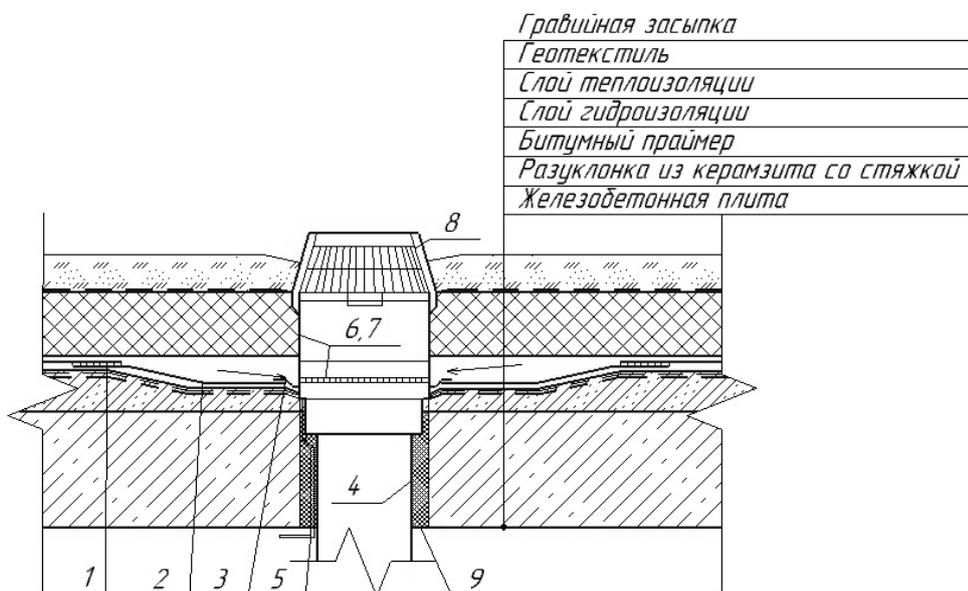


Рисунок 3.6 – Узел двухуровневой воронки в инверсионной кровле без пароизоляционного слоя:

- 1 – Сварной шов (25-30мм); 2 – гидроизоляционный материал; 3 – прижимной фланец; 4 – водосточной воронка; 5 – термокабель; 6,7 – элемент воронки с дренажным фланцем; 8 – уловитель частиц гравия; 9 – монтажная пена

Для улучшения фильтрационных свойств вокруг воронок следует применять более крупную фракцию гравия.

Основными трудностями при осуществлении ремонтных работ на кровле высотных зданий являются следующие факторы: стесненность в условиях плотной городской застройки, повышенные требования к безопасности рабочих, трудности в доставке и спуске материалов.

Работу следует вести поэтапно, разделяя фронт работ на отдельные захватки.

До начала выполнения ремонтных работ должны быть выполнены все необходимые подготовительные мероприятия: устроены защитные ограждения на крыше, выставлены предупредительные ограждения и надписи. На площадке должен быть журнал по технике безопасности.

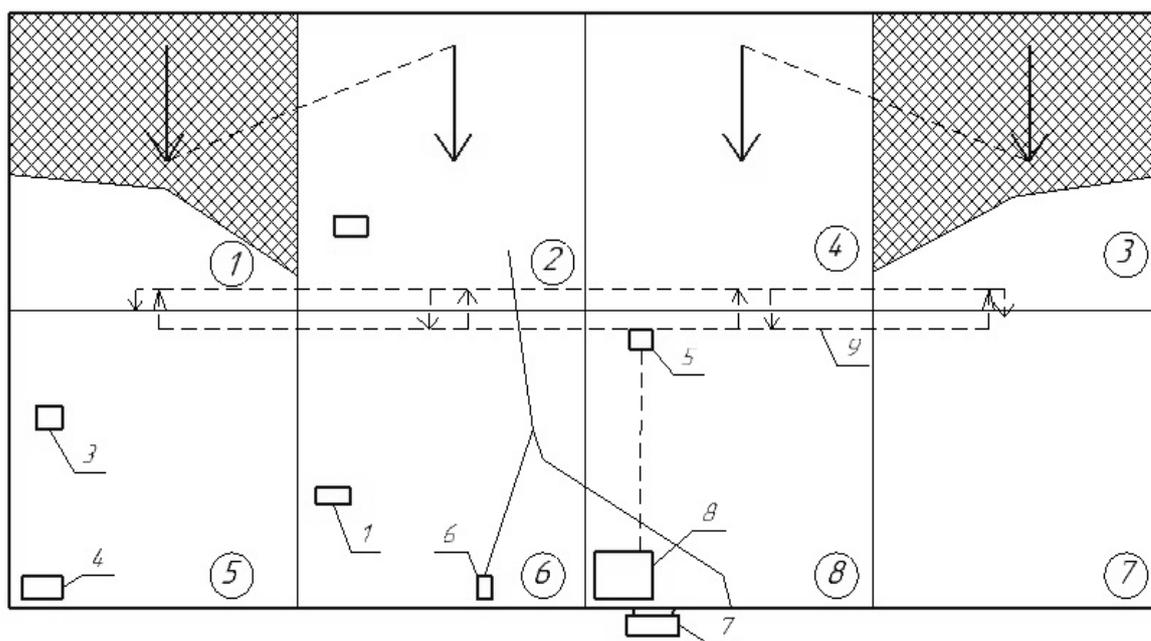


Рисунок 3.7 – Схема организации работ при ремонте кровли:

1 – ящик для инструмента; 2 – горелка; 3 – ведро с праймером; 4 – ящик с песком; 5 – тележка для подвозки материалов; 6 – баллон с топливом для горелки; 7 – подъемник; 8 – контейнеры с материалами; 9 – направление подачи материала

Кровельщик должен использовать индивидуальные средства защиты. Помимо защитных ограждений на строительной площадке должны быть предохранительные пояса, их крепление осуществляется в указанных в журнале производства работа местах. Для защиты головы от падающих предметов используется защитная каска с подшлемником.

Главной трудностью в организации работ является подача и спуск материалов. Высотные здания, как правило, расположены в районах плотной городской застройки, поэтому применение кранов достаточно ограничено. Для доставки материалов к месту работ используют подъемники.

Организация работ при ремонте кровли с учетом всех названных факторов схематично представлена на рисунке 3.7.

Рассмотренная технология работ позволяет сказать, что отказ от пароизоляционного слоя ведет к уменьшению затрат труда и стоимости конструкции.

### 3.3 Оценка эффективности предлагаемого варианта устройства кровли

Для того, чтобы оценить эффективность предлагаемого конструктивно-технологического решения, определим и обобщим основные технико-экономические показатели.

Как было отмечено ранее, отказ от слоя пароизоляции в инверсионной кровли позволяет уменьшить стоимость конструкции, а также уменьшить трудоемкость работ. В таблице 3.6 представлены полученные результаты.

В главе 2.2 подсчитана трудоемкость для инверсионной кровли. Согласно таблице 2.5 она составляет 87,7 чел-ч. Трудоемкость работ для инверсионной кровли без пароизоляции, представленная в таблице 3.6, составляет 81 чел-ч.

Таким образом, делаем вывод, что трудозатраты уменьшились на 7,6%.

При сравнении с традиционной кровлей затраты труда оказались практически одинаковыми.

Таблица 3.6 – Трудоемкость работ при проведении капитального ремонта для инверсионной кровли без пароизоляции

№ п.п	ЕНиР	Выполняемые работы	Ед. изм.	Объем работ	Норма времен и на ед. изм., чел.-ч	Затраты труда на весь объем, чел.-ч.
1	Е20-1-107	Разборка кровли из рулонных материалов	100 м <sup>2</sup>	1	8,8	8,8
2	Е7-14	Устройство разуклонки из керамзита	100 м <sup>2</sup>	1	4,6	4,6
3	Е7-15	Цементно-песчаная стяжка	100 м <sup>2</sup>	1	21	21
4	Е7-4	Огрунтовка поверхности основания праймером вручную	100 м <sup>2</sup>	1	4,1	4,1
5	Е7-3	Устройство гидроизоляционного слоя из рулонных материалов	100 м <sup>2</sup> .	1	6,5	6,5
6	Е7-14	Устройство теплоизоляции из экструзионного пенополистирола	100 м <sup>2</sup>	1	23	23
7	Е7-13	Укладка слоя геотекстиля	100 м <sup>2</sup>	1	6,7	6,7
8	Е7-4	Гравийная засыпка	100 м <sup>2</sup>	1	6,3	6,3
					Итого	81

Предлагаемое решение позволяет также сократить расходы на устройство кровли, что являлось одной из главных задач нашей работы. В приложении А произведен подробный расчет стоимости кровельной конструкции на 100 м<sup>2</sup>. В таблице 3.6 для сравнения представлена стоимость рассматриваемых в данной работе кровель.

Таблица 3.7 – Стоимость работ при капитальном ремонте на 100 м<sup>2</sup> покрытия

№ п.п.	Тип конструкции	Стоимость, руб	Срок службы, лет
1	Традиционная кровля	259 652,10	10-20
2	Инверсионная кровля	338 014,20	50
3	Инверсионная кровля без пароизоляции	331 122,14	50

Таким образом, стоимость работ уменьшилась на 2,1% по сравнению с исходным вариантом инверсионной кровли.

Подводя итоги, обобщим все вышеперечисленные характеристики для предлагаемого решения в табличной форме.

Таблица 3.8 – Характеристики инверсионной кровли без пароизоляции

№ п.п.	Параметр	Единица измерения	Кол-во
1	Толщина утеплителя	м	120
2	Сопротивление теплопередаче	м <sup>2</sup> ·°С/Вт	5,365
3	Сметная стоимость (на 100 м <sup>2</sup> )	руб	331 122,14
4	Трудоемкость (на 100 м <sup>2</sup> )	чел-ч	81
5	Выдерживаемая нагрузка ветрового давления	кПа	2
6	Срок службы	лет	50

Таким образом, произведенная оценка показала эффективность предлагаемого конструктивно-технологического решения кровли.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первой главе были рассмотрены существующие типы кровель, которые могут применяться в высотном строительстве. Анализ данных показал, что наиболее частым типом кровли по-прежнему остается традиционная кровля. Также рассмотрены существующие технологии ремонта кровель, в результате чего для высотных зданий в качестве наиболее рационального выбран вариант с полной заменой слоев. Была уточнена классификация кровель высотных зданий, предложено классифицировать инверсионную кровлю по наличию или отсутствию слоя пароизоляции.

Во второй главе произведен анализ основных факторов и дефектов кровель высотных зданий, рассмотрены признаки износа конструкций крыш. На основании анализа произведено сравнение двух вариантов конструктивного решения кровли – традиционного и инверсионного. В результате установлено, что инверсионная кровля является наиболее эффективным решением для высотных зданий исходя из основных факторов: прочности, долговечности, стоимости, энергоэффективности, трудоемкости.

В третьей главе было внесено предложение по устройству инверсионной кровли, которое состоит в отказе от пароизоляционного слоя. Был произведен теплотехнический расчет, который показал, что в данном случае вероятность возникновения конденсата в конструкции отсутствует. Рассмотрена технология и организация работ по ремонту кровли с учетом внесенных поправок, определены основные технико-экономические показатели предлагаемого варианта, подтверждающие целесообразность его применения. Трудозатраты уменьшились 7,6%, стоимость работ уменьшилась на 2,1 %.

Таким образом, в данной работе предложен усовершенствованный вариант конструктивно-технологического решения кровли, который отвечает всем критериям надежности, долговечности и экономичности.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Афанасьев, А.А. Технология строительных процессов [Текст] / А.А. Афанасьев, Н.Н. Данилов, В.Д. Копылов; М.: Высшая школа, 2014. - 463 с.
2. Бацагин, В.С. Инверсионные кровли и материалы для их устройства [Текст] / В.С. Бацагин; Строительные материалы. - 2002. - №12. - С. 10-11.
3. Белевич, В.Б. Кровельные работы [Текст] / В.Б. Белевич; М.: Высшая школа, 2007. – 208 с.
4. Бойко, М.Д. Техническое обслуживание и ремонт зданий и сооружений [Текст] / М.Д. Бойко, А.И. Мураховский, В.З. Величкин; М.: Стройиздат, 1993. – 207 с.
5. Бурмистров, Г.Н. Кровельные материалы [Текст] / Г.Н. Бурмистров; М.: Стройиздат, 2000. - 176 с.
6. Белевич, В.Б. Выявление дефектов кровли и их устранение. Крыши и мансарды: справочник [Текст] / В. Б. Белевич; М.: «Застройщик», 2002. - 309 с.
7. Генералов, В.П. Особенности проектирования высотных зданий [Текст] / В.П. Генералов; Самара: Самарск. гос. арх.-строит, университет, 2009. – 296 с.
8. Гордеев-Гавриков, В.К. Выбор наиболее экономичного метода ремонта рулонных кровель [Текст] / В.К. Гордеев-Гавриков, А.Л. Жолобов; Жилищное и коммунальное хозяйство. - 2003. - № 4. - С. 16-19.
9. Дворкин, Л. И. Строительное материаловедение [Текст] / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин; М.: Инфра-Инженерия, 2013. - 832 с.
10. Дворкин, О.Л. Строительные материалы из отходов промышленности: учеб.-справ. пособие [Текст] / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин; Ростов-на-Дону: Феникс, 2007. - 363 с.
11. Дегтярев, И.М. Оценка эффективности технологий, предназначенных для уменьшения количества выпадающего конденсата в

старой кровле [Текст] / И.М. Дегтярев, С.И. Кейзеров, В.П. Протасов; Кровля и изоляция. - 2005. - № 3. - С. 39-42.

12. Еропов, Л.А. Покрытия и кровли гражданских и промышленных зданий [Текст] / Л.А. Еропов; М.: Изд-во АСВ, 2004. - 248 с.

13. Жуков, А.Д. Мягкая кровля [Текст] / А.Д. Жуков; Кровельные и изоляционные материалы. - 2006. - № 4. - С. 17-19.

14. Завражин, Н.Н. Кровельные работы [Текст] / Н.Н. Завражин; М.: Стройиздат, 2005. - 254 с.

15. Зобкова, Н.В. Проектирование и технология устройства крыш с мягкой кровлей [Текст] / Н.В. Зобкова; Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т, 2007. - 76 с.

16. Ковалев, С.С. Полимерные кровельные материалы, опыт применения - преимущества и недостатки [Текст] / С.С. Ковалев; Кровля и изоляция. - 2001. - № 1-2. - С. 6-8.

17. Козак, Ю. Конструкции высотных зданий [Текст] / Ю. Козак; М.: Стройиздат, 1996. - 308 с.

18. Косо, Дж. Крыши и кровельный работы [Текст] / Дж. Косо, пер. с венг. под ред. В.И. Рыженко; М.: Издательская группа «Контэнт», 2007. - 272 с.

19. Кунгурцев, А.К. Покрытия, крыши и кровли [Текст] / А.К. Кунгурцев; СПб.: СПбГАСУ, 2015. - 228 с.

20. Лесовик, В. С. Строительные материалы и изделия [Текст] / В. С. Лесовик, Н. И. Алфимова, Л. Н. Соловьева; Белгород: БГТУ ЭБС АСВ, 2013. - 110 с.

21. Маклакова, Т.Г. Архитектура [Текст] / Т. Г. Маклакова, С. М. Нанасова, В. Г. Шарапенко, А. Е. Балакина; М.: Издательство АСВ, 2004. - 464 с.

22. Мехнецов, И.А. К вопросу о повышению надежности кровельного покрытия [Текст] / И.А. Мехнецов; Промышленное и гражданское строительство. - 2007. - № 7. - 53-54 с.

23. Нечаев, Н.В. Капитальный ремонт жилых зданий [Текст] / Н.В. Нечаев; М.: Стройиздат, 2000. - 287с.
24. Одинокоев, С.Д. Кровельные работы [Текст] / С.Д. Одинокоев, Н.Н. Завражин; М.: Стройиздат, 1999. - 344 с.
25. Острецов, В.М. Инструментальное измерение ветровых колебаний высотных зданий [Текст] / В.М. Острецов, Л.Б. Гендельман, А.Б. Вознюк, Н.К. Капустян; Жилищное строительство. - 2005. - №9. - С.11-14.
26. Панасюк, М.В. Кровельные материалы [Текст] / М.В. Панасюк; Ростов н/Д: Феникс, 2005. – 448 с.
27. Покровский, В.М. Гидроизоляционные работы [Текст] / В.М. Покровский; М.: Стройиздат, 2005. - 320 с.
28. Полозюк, В.В. О долговечности кровельных материалов [Текст] / В.В. Полозюк; Кровля и изоляция. - 2001. - № 3-4. - С. 9-11.
29. Радионенко, В. П. Технологические процессы в строительстве [Текст] / В. П. Радионенко; Воронеж: ВГАСУ ЭБС АСВ, 2014. - 251 с.
30. Сборщикова, С.Б. Основы проектирования, строительства, эксплуатации зданий и сооружений [Текст] / С. Б. Сборщикова; Москва: МГСУ ЭБС АСВ, 2015. - 492 с.
31. Сиденко, Д.А. Дефекты плоских кровель из битумно-полимерных материалов и методы их устранения [Текст] / Д.А. Сиденко; Кровельные и изоляционные материалы. - 2006. - № 4. - С. 69.
32. Тацки, Л. Н. Строительные материалы [Текст] / Л. Н. Тацки; Новосибирск: Сибстрин, 2015. - 140 с.
33. Трефф, Э. Долговечные конструкции плоских крыш [Текст] / Э. Трефф. Пер. с нем. В.Г. Бердичевского; под ред. А.Н. Мазалова; М.:Стройиздат, 1998. - 136с.
34. Харитонов, В.А. Проектирование, строительство и эксплуатация высотных зданий [Текст] / В.А. Харитонов; М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2014. – 352 с.

35. Штейман, Б.И. Устройство эксплуатируемых крыш [Текст] / Б.И. Штейман; Жилищное строительство. - 2014. - №6.
36. ВСН 53-86 (р). Правила оценки физического износа жилых зданий. – Введ. 01.07.87; М.: Прейскурангиздат, 1988. - 69 с.
37. ВСН 58-88 (р). Положение об организации и проведении реконструкции, ремонта и технического обслуживания жилых зданий, объектов коммунального и социально-культурного назначения. – Введ. 13.09.88; М.: Стройиздат, 1990. - 64с.
38. ГЭСН 81-02-12-2001. Кровли. – Введ. 26.04.00; М.: Госстрой России, 2000. - 20 с.
39. ГЭСНр-2001-58. Крыши, кровли. – Введ. 17.12.99; М.: Госстрой России, 2000. - 13 с.
40. СП 17.13330.2011. Свод правил. Кровли. Актуализированная редакция СНиП II-26-76. – Введ. 20.05.11; М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2012. – 74 с.
41. СП 20.13330.2011. Свод правил. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85\*. - Введ. 20.05.11; М.: Изд-во стандартов, 2011. - 85 с.
42. СП 50.13330.2012. Свод правил. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003. - Введ. - 01.07.2013; М.: Изд-во стандартов. - 127 с.
43. СП 23-101-2004. Свод правил. Проектирование тепловой защиты. - Введ. - 23.04.2004; М.: Госстрой России, 2004. - 89 с.
44. Canguly, A. Performance of Building Roofs on Energy Efficiency / A. Canguly; 5th International Conference on Advances in Energy Research. – 2015. - №12. - P. 15-17.
45. Geffert, P. Diagnosing Roof Problems with a Nuclear Moisture Meter / P. Geffert; Plant Engineering, 2002. - 213 p.
46. Kirby, R. Waterproofing membranes / R. Kirby; Professional Roofing. - 2006. - №12. - P. 14.

47. Perez, G. Green roofs as passive system for energy savings when using rubber crumbs as drainage layer / G. Perez, J. Coma, C. Sole; Energy Procedia. – 2015. - №30. – P. 453-460.

48. Ziems, T. Assessing asphalt / T. Ziems; Professional Roofing. - 2016. - №4. - P. 34-37.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Сметная стоимость различных типов кровли

Таблица П.А.1 – Расчет сметной стоимости традиционной кровли

Составлен в текущих ценах по состоянию на март 2018 г.					
№ п. п.	ГЭСН	Наименование работ	Ед. изм.	Кол-во	Стоимость, руб.
1	2	3	4	5	6
1	46-04-008-01	Разборка покрытий кровель из рулонных материалов	100 м <sup>2</sup>	1	2 398,76
2	58-17-2	Разборка теплоизоляции из минераловатных плит толщиной 100 мм	100 м <sup>2</sup>	1	1 974,76
3	11-01-050-01	Устройство пароизоляции из полиэтиленовой пленки в один слой насухо (Коэф. МДС 81.35-2004 п.4.7 к ОТ = 1,15 к ЭМ = 1,25 к ЗТ = 1,15 к ЗТМ = 1,25)	100 м <sup>2</sup>	1	2 758,60
4	113-0324	Пленка полиэтиленовая толщиной 0,2-0,5 мм	м <sup>2</sup>	-122,4	-2 073,46
5	101-4135	Пленка пароизоляционная ЮТАФОЛ	м <sup>2</sup>	122,4	4 193,42
6	12-01-013-03	Утепление покрытий плитами из минеральной ваты (Коэф. МДС 81.35-2004 п.4.7 к ОТ = 1,15 к ЭМ = 1,25 к ЗТ = 1,15 к ЗТМ = 1,25)	100 м <sup>2</sup>	1	35 341,55
7	104-0004	Плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем М-125 (ГОСТ 9573-96)	м <sup>3</sup>	-6,18	-15 182,84
8	104-0004	Плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем М-125 (ГОСТ 9573-96)	м <sup>3</sup>	18,54	45 548,52
9	12-01-014-02	Устройство разуклонки из керамзита (Коэф. МДС 81.35-2004 п.4.7 к ОТ = 1,15 к ЭМ = 1,25 к ЗТ = 1,15 к ЗТМ = 1,25)	1 м <sup>3</sup>	10	24 131,66
10	12-01-017-01	Устройство выравнивающих стяжек цементно-песчаных толщиной 15 мм (Коэф. МДС 81.35-2004 п.4.7 к ОТ = 1,15 к ЭМ = 1,25 к ЗТ = 1,15 к ЗТМ = 1,25)	100 м <sup>2</sup>	1	12 362,22
11	12-01-016-02	Огрунтовка оснований под водоизоляционный кровельный ковер праймером (Коэф. МДС 81.35-2004 п.4.7 к ОТ = 1,15 к ЭМ = 1,25 к ЗТ = 1,15 к ЗТМ = 1,25)	100 м <sup>2</sup>	1	1 585,72

Продолжение таблицы П.А.1

12	101-1780	Эмульсия битумная для гидроизоляционных работ	т	-0,045	- 990,40
13	113-2221	Праймер битумный производства <Техно-Николь> (прим. - расход 0,35 кг/м2)	т	0,035	3 173,45
14	12-01-002-09	Устройство кровель плоских из наплавливаемых материалов в два слоя (Коэф. МДС 81.35-2004 п.4.7 к ОТ = 1,15 к ЭМ = 1,25 к ЗТ = 1,15 к ЗТМ = 1,25)	100 м <sup>2</sup>	1	43 211,24
15	101-1961	Изопласт К ЭКП-4,5	м <sup>2</sup>	-114	-20 358,12
16	101-1962	Изопласт П ЭПП-4,0	м <sup>2</sup>	-116	-18 333,80
17	101-4703	Техноэласт ЭКП	м <sup>2</sup>	114	21 185,76
18	101-4702	Техноэласт ЭПП	м <sup>2</sup>	116	21 494,80
19	12-01-014-02	Засыпка гравием (Коэф. МДС 81.35-2004 п.4.7 к ОТ = 1,15 к ЭМ = 1,25 к ЗТ = 1,15 к ЗТМ = 1,25)	1 м <sup>3</sup>	5	12 065,83
		ИТОГИ			
		Фонд оплаты труда			33 705,10
		Стоимость эксплуатации машин			11 905,59
		Стоимость материалов, учтенных в расценках			92 411,04
		Стоимость материалов, не учтенных в расценках			38 657,33
		Стоимость материалов			131 068,37
		Итого прямые затраты по разделу			174 487,67
		Накладные расходы			30 435,36
		Сметная прибыль			15 121,12
		НДС, 18%			39 607,95
		ВСЕГО ПО СМЕТЕ			259 652,10

Продолжение приложения А

Таблица П.А.2 – Расчет сметной стоимости инверсионной кровли с пароизоляцией

Составлен в текущих ценах по состоянию на март 2018 г.					
№ п. п.	ГЭСН	Наименование работ	Ед. изм.	Кол-во	Стоимость, руб.
1	2	3	4	5	6
1	46-04-008-01	Разборка покрытий кровель из рулонных материалов	100 м <sup>2</sup>	1	2 398,76
2	58-17-2	Разборка теплоизоляции из минераловатных плит толщиной 100 мм	100 м <sup>2</sup>	1	1 974,76
3	11-01-050-01	Устройство пароизоляции из полиэтиленовой пленки в один слой насухо (Коэф. МДС 81.35-2004 п.4.7 к ОТ = 1,15 к ЭМ = 1,25 к ЗТ = 1,15 к ЗТМ = 1,25)	100 м <sup>2</sup>	1	2 758,60
4	113-0324	Пленка полиэтиленовая толщиной 0,2-0,5 мм	м <sup>2</sup>	-122,4	-2 073,46
5	101-4135	Пленка пароизоляционная ЮТАФОЛ	м <sup>2</sup>	122,4	4 193,42
6	12-01-014-02	Устройство разуклонки из керамзита (Коэф. МДС 81.35-2004 п.4.7 к ОТ = 1,15 к ЭМ = 1,25 к ЗТ = 1,15 к ЗТМ = 1,25)	1 м <sup>3</sup>	10	24 131,66
7	12-01-017-01	Устройство выравнивающих стяжек цементно-песчаных толщиной 15 мм (Коэф. МДС 81.35-2004 п.4.7 к ОТ = 1,15 к ЭМ = 1,25 к ЗТ = 1,15 к ЗТМ = 1,25)	100 м <sup>2</sup>	1	12 362,22
8	12-01-016-02	Огрунтовка оснований под водоизоляционный кровельный ковер (Коэф. МДС 81.35-2004 п.4.7 к ОТ = 1,15 к ЭМ = 1,25 к ЗТ = 1,15 к ЗТМ = 1,25)	100 м <sup>2</sup>	1	1 585,72
9	101-1780	Эмульсия битумная для гидроизоляционных работ	т	-0,045	- 990,40
10	113-2221	Праймер битумный производства <Техно-Николь> (расход 0,35 кг/м2)	т	0,035	3 173,45
11	12-01-002-09	Устройство кровель плоских из наплавляемых материалов в два слоя (Коэф. МДС 81.35-2004 п.4.7 к ОТ = 1,15 к ЭМ = 1,25 к ЗТ = 1,15 к ЗТМ = 1,25)	100 м <sup>2</sup>	1	43 211,24

Продолжение таблицы П.А.2

12	101-1961	Изопласт К ЭКП-4,5	м <sup>2</sup>	-114	-20 358,12
13	101-1962	Изопласт П ЭПП-4,0	м <sup>2</sup>	-116	-18 333,80
14	101-4702	Техноэласт ЭПП	м <sup>2</sup>	230	42 619,00
15	26-01-041-05	Изоляция покрытий и перекрытий плитами пенополистирольными (Коэф. МДС 81.35-2004 п.4.7 к ОТ = 1,15 к ЭМ = 1,25 к ЗТ = 1,15 к ЗТМ = 1,25)	1 м <sup>3</sup>	12	69 002,29
16	104-0103	Плиты из пенопласта полистирольного ПСБС-40	м <sup>3</sup>	-12,24	-40 668,87
17	104-0748	Плиты пенополистирольные экструзионные ТЕХНОПЛЕКС (ТУ 2244-047-17925162-2006), марки 35-250	м <sup>3</sup>	12,24	59 260,94
18	26-01-055-02	Укладка геотекстиля (Коэф. МДС 81.35-2004 п.4.7 к ОТ = 1,15 к ЭМ = 1,25 к ЗТ = 1,15 к ЗТМ = 1,25)	100 м <sup>2</sup>	1	7 710,33
19	113-1952	Пленка полиэтиленовая толщиной 0,2-0,5 мм, изоловая	м <sup>2</sup>	-115	-1 607,70
20	101-7239	Нетканый геотекстиль Геотекс 150	м <sup>2</sup>	115	2 003,30
21	12-01-014-02	Засыпка гравием (Коэф. МДС 81.35-2004 п.4.7 к ОТ = 1,15 к ЭМ = 1,25 к ЗТ = 1,15 к ЗТМ = 1,25)	1 м <sup>3</sup>	10	24 131,66
		ИТОГИ			
		Фонд оплаты труда			53 833,26
		Стоимость эксплуатации машин			16 359,80
		Стоимость материалов, учтенных в расценках			121 553,12
		Стоимость материалов, не учтенных в расценках			27 217,76
		Стоимость материалов			148 770,88
		Итого прямые затраты по разделу			216 485,00
		Накладные расходы			44 912,73
		Сметная прибыль			25 054,98
		НДС, 18%			51 561,49
		ВСЕГО ПО СМЕТЕ			338 014,20

## Продолжение приложения А

Таблица П.А.3 – Расчет сметной стоимости инверсионной кровли без пароизоляции

Составлен в текущих ценах по состоянию на март 2018 г.					
№ п. п.	ГЭСН	Наименование работ	Ед. изм.	Кол-во	Сметная стоимость, руб.
1	2	3	4	5	6
1	46-04-008-01	Разборка покрытий кровель из рулонных материалов	100 м <sup>2</sup>	1	2 398,76
2	58-17-2	Разборка теплоизоляции из минераловатных плит толщиной 100 мм	100 м <sup>2</sup>	1	1 974,76
3	12-01-014-02	Устройство разуклонки из керамзита (Коэф. МДС 81.35-2004 п.4.7 к ОТ = 1,15 к ЭМ = 1,25 к ЗТ = 1,15 к ЗТМ = 1,25)	1 м <sup>3</sup>	10	24 131,66
4	12-01-017-01	Устройство выравнивающих стяжек цементно-песчаных толщиной 15 мм (Коэф. МДС 81.35-2004 п.4.7 к ОТ = 1,15 к ЭМ = 1,25 к ЗТ = 1,15 к ЗТМ = 1,25)	100 м <sup>2</sup>	1	12 362,22
5	12-01-016-02	Огрунтовка оснований под водоизоляционный кровельный ковер битумным праймером (Коэф. МДС 81.35-2004 п.4.7 к ОТ = 1,15 к ЭМ = 1,25 к ЗТ = 1,15 к ЗТМ = 1,25)	100 м <sup>2</sup>	1	1 585,72
6	101-1780	Эмульсия битумная	т	-0,045	- 990,40
7	113-2221	Праймер битумный производства <Техно-Николь> (прим. - расход 0,35 кг/м <sup>2</sup> )	т	0,035	3 173,45
8	12-01-002-09	Устройство кровель плоских из наплавливаемых материалов в два слоя (Коэф. МДС 81.35-2004 п.4.7 к ОТ = 1,15 к ЭМ = 1,25 к ЗТ = 1,15 к ЗТМ = 1,25)	100 м <sup>2</sup>	1	43 211,24
9	101-1961	Изопласт К ЭКП-4,5	м <sup>2</sup>	-114	-20 358,12
10	101-1962	Изопласт П ЭПП-4,0	м <sup>2</sup>	-116	-18 333,80
11	101-4702	Техноэласт ЭПП	м <sup>2</sup>	230	42 619,00
12	26-01-041-05	Изоляция покрытий и перекрытий плитами пенополистирольными (Коэф. МДС 81.35-2004 п.4.7 к ОТ = 1,15 к ЭМ = 1,25 к ЗТ = 1,15 к ЗТМ = 1,25)	1 м <sup>3</sup>	12	69 002,29
13	104-0103	Плиты из пенопласта полистирольного ПСБС-40	м <sup>3</sup>	-12,24	-40 668,87

## Продолжение таблицы П.А.3

14	104-0748	Плиты пенополистирольные экструзионные ТЕХНОПЛЕКС (ТУ 2244-047-17925162-2006), марки 35-250	м <sup>3</sup>	12,24	59 260,94
15	26-01-055-02	Укладка геотекстиля (Коэф. МДС 81.35-2004 п.4.7 к ОТ = 1,15 к ЭМ = 1,25 к ЗТ = 1,15 к ЗТМ = 1,25)	100 м <sup>2</sup>	1	7 710,33
16	113-1952	Пленка полиэтиленовая толщиной 0,2-0,5 мм	м <sup>2</sup>	-115	-1 607,70
17	101-7239	Нетканый геотекстиль Геотекс 150	м <sup>2</sup>	115	2 003,30
18	12-01-014-02	Засыпка гравием (Коэф. МДС 81.35-2004 п.4.7 к ОТ = 1,15 к ЭМ = 1,25 к ЗТ = 1,15 к ЗТМ = 1,25)	1 м <sup>3</sup>	10	24 131,66
		ИТОГИ			
		Фонд оплаты труда			53 169,70
		Стоимость эксплуатации машин			16 338,22
		Стоимость материалов, учтенных в расценках			119 479,66
		Стоимость материалов, не учтенных в расценках			25 097,80
		Стоимость материалов			144 577,46
		Итого прямые затраты по разделу			211 606,44
		Накладные расходы			44 288,98
		Сметная прибыль			24 716,56
		Итого по смете с накладными расходами и сметной прибылью			280 611,98
		НДС, 18%			50 510,16
		ВСЕГО ПО СМЕТЕ			331 122,14