

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

РОЗАНЦЕВА Надежда Владимировна

**ТЕХНОЛОГИЯ УСТРОЙСТВА ВЕНТИЛИРУЕМОЙ ФАЛЬЦЕВОЙ
КРОВЛИ ИЗ УНИФИЦИРОВАННЫХ БЫСТРОСБОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

Специальность **05.23.08 – Технология и организация строительства**

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Юдина Антонина Федоровна

Санкт-Петербург – 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ УСТРОЙСТВА ФАЛЬЦЕВЫХ КРОВЕЛЬ	12
1.1 Особенности технологий устройства вентилируемых фальцевых кровель ..	12
1.2 Обзор используемых материалов в качестве утеплителя для крыши, сравнение их по параметрам теплопроводности, водопоглощения, долговечности, прочности, эксплуатационной надежности и экономической целесообразности	22
1.3 Анализ способов крепления кровельной системы, применяемых в технологии устройства фальцевых кровель	30
Выводы по 1 главе	34
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УТЕПЛИТЕЛЯ. РАЗРАБОТКА «ТЕРМОПАНЕЛИ» КАК ОСНОВНОГО НЕСУЩЕГО ЭЛЕМЕНТА БЫСТРОСБОРНОЙ КРОВЛИ	36
2.1 Экспериментальные исследования обоснования выбора материала утеплителя, отвечающего требованиям теплопроводности, водопоглощения, долговечности, прочности, эксплуатационной надежности и его стоимости	36
2.2 Экспериментальные испытания пенополиуретановой панели на прочность	48
2.3 Разработка «термопанели» как основного несущего элемента быстросборной кровли с пространственным каркасом из фанеры	54
2.4 Экспериментальные исследования несущей способности «термопанели» в напряженно-деформированном состоянии и вывод о зависимости нарастания перемещения фанерного каркаса от нагрузки при совместной работе пенополиуретана и фанерного каркаса	60
2.5 Разработка конструкции «термопанели» как основного несущего элемента с каркасом из базальтового волокна	79
2.6 Теоретические исследования технологии устройства утепленной скатной кровли с обеспечением необходимого воздухообмена	84
Выводы по 2 главе	96

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СПОСОБА КРЕПЛЕНИЯ ТЕРМОПАНЕЛЕЙ И СТРОПИЛ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И ПОЛИМЕРНЫХ КРЕПЕЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	99
3.1 Разработка способа крепления термопанелей и стропил (металлических и деревянных) с использованием металлических и полимерных крепежных элементов	99
3.2 Экспериментальные испытания установочных средств крепления (дюбелей).	103
3.3 Экспериментальные испытания стальных и полимерных(полиамидных) крепежных элементов	111
Выводы по 3 главе	117
ГЛАВА 4. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА И РЕКОНСТРУКЦИИ ВЕНТИЛИРУЕМОЙ ФАЛЬЦЕВОЙ КРОВЛИ ИЗ УНИФИЦИРОВАННЫХ БЫСТРОСБОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ	119
4.1 Производственная проверка предлагаемой технологии устройства вентилируемой фальцевой кровли в условиях стройплощадки.....	119
4.2 Пооперационный хронометраж технологических процессов устройства вентилируемой кровли из унифицированных быстросборных элементов	129
4.3 Разработка технологической карты и технологического регламента на устройство вентиляруемой фальцевой кровли	134
4.4 Разработка элементов технологической карты и технологического регламента на устройство вентиляруемой фальцевой кровли	144
4.5 Оценка технико-экономических показателей технологии устройства вентилируемой фальцевой кровли из унифицированных быстросборных элементов	145
Выводы по 4 главе	153
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	156
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	159
ПРИЛОЖЕНИЯ	172

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность избранной темы. В России и во многих других странах широко распространены металлические кровли. Технологии их устройства не менялись на протяжении десятилетий, оставаясь трудоемкими и ресурсозатратными и, в большинстве своем, не отвечают современным требованиям энергосбережения, являясь самой уязвимой частью здания, поскольку через кровлю проходит потеря тепла, составляющая порядка 35 % – 40 % от общих потерь по зданию.

Для обеспечения нормальной и безопасной эксплуатации кровель периодически возникает необходимость замены части кровли (ремонта) или ее реконструкции. Замена кровельного покрытия, исчерпавшего свой ресурс, осложнена необходимостью проведения работ на высоте в любое время года. При этом значительная часть кровельных работ относится к скрытым работам, низкое качество которых проявляется только в процессе эксплуатации. Существующие технологии устройства и ремонта кровель зачастую не позволяют выполнить необходимый объем работ должного качества в условиях эксплуатации здания и характеризуются большими трудовыми и финансовыми затратами, низкой производительностью работ.

Актуальность темы диссертации определяется необходимостью разработки эффективной, экономически обоснованной технологии устройства и реконструкции вентилируемой фальцевой кровли с применением унифицированных быстросборных элементов и новых способов крепления кровельной системы, позволяющих более эффективно выполнять работы по ее устройству и реконструкции с существенным снижением затрат труда, одновременным повышением качества и срока службы кровель в период эксплуатации здания, а также использованием современных теплоизоляционных материалов, обеспечивающих повышение энергетической эффективности здания за счет сокращения теплопотерь через покрытие верхнего этажа.

Степень разработанности темы исследования.

Основные направления совершенствования технологии устройства металлических вентилируемых кровель отражены в трудах и изобретениях В.Б.

Белевича, П.Д. Батаковского, В.Н. Богословского, Б.М. Болотникова, К.А. Бота, А.П. Васина, А.И. Гармаша, А.И. Гегелло, И.М. Гриня, Р.Р.Ермакова, Н.Н. Ерыгина, А.Л. Жолобова, П.И. Завгороднева, В.Г.Залесского, А.А.Земского, А.С. Козловского, Л.М. Колчеданцева, А.А. Лapidуса., Д.А. Сиденко, Ю.А. Табунщикова, В.И. Тена, Н.А. Цветкова, А.Г. Чайки, А.Ф.Юдиной, Н. Schlenker, Hermann Ohl, Гельмута Линдемманна, Ханса-Петера Роша, Эрвина Халла Брин, Лео Мейера, Клауса Зипенкорт, К. Зайферта и др.

Цель исследования – разработка эффективной технологии устройства и реконструкции вентилируемой фальцевой кровли из унифицированных быстросборных элементов, экспериментально-теоретическое обоснование технологических параметров процесса устройства кровли с учетом использования эффективного материала утеплителя и его крепления с кровельной системой.

В соответствии с поставленной целью были сформулированы и решены следующие **научные задачи исследования**:

- проведен сравнительный аналитический обзор существующих технологий устройства и реконструкции металлических кровель, используемых материалов утеплителя, способов крепления кровли со стропилами и утеплителем, определены основные технологические параметры процесса устройства кровли;

- теоретически и экспериментально обоснован выбор материала утеплителя, отвечающего необходимым требованиям теплопередаче, прочности и экономической целесообразности;

- разработана «термопанель» с учетом обеспечения необходимого воздухообмена кровли с определением ее формы, оптимальных размеров и несущей способности;

- разработан новый эффективный способ соединения фальцевой кровли со стропилами (металлическими и деревянными) и утеплителем с использованием крепежных металлических и полимерных (полиамидных) элементов; проведены экспериментальные исследования их прочностных свойств крепежа;

- разработана эффективная технология устройства и реконструкции вентилируемой фальцевой кровли из унифицированных быстросборных

элементов, проведен хронометраж технологического процесса монтажа термопанелей в реальных условиях строительной площадки с оценкой технико-экономических показателей ее практического использования;

– разработан технологический регламент и технологическая карта по реализации новой технологии устройства и реконструкции вентилируемых фальцевых кровель из унифицированных быстросборных элементов.

Объектом исследования является строительный технологический процесс устройства металлической скатной кровли.

Предметом исследования являются технологические параметры процесса устройства кровли.

Научная новизна исследования.

1. На основании проведенного анализа существующих технологий разработана и исследована новая технология устройства и реконструкции вентилируемой фальцевой кровли из унифицированных быстросборных элементов, в которой крепление кровли со стропилами осуществляется с помощью дюбельной системы, имеющей существенные преимущества по сравнению с существующими технологиями.

2. Теоретически и экспериментально обоснован выбор материала утеплителя (жесткий мелкоячеистый пенополиуретан), отвечающий требованиям теплопроводности, водопоглощения, долговечности, прочности, эксплуатационной надежности, позволяющий уменьшить вес кровли и снизить ее стоимость.

3. Разработаны два варианта «термопанелей» как основного несущего элемента высокой прочности (14 кН/м^2): с пространственным фанерным каркасом и каркасом на основе базальтовой арматуры с утеплителем из пенополиуретана, использование которых позволяет создать утепленную кровлю с естественной вентиляцией за счет вентиляционных каналов, образуемых ребристой поверхностью термопанели.

4. Выведено уравнение зависимости снижения перемещения фанерного

каркаса от прилагаемой нагрузки при совместной работе пенополиуретана и фанерного каркаса.

5. Разработан новый эффективный способ соединения «термопанели» и стропил (металлических и деревянных) с использованием крепежных металлических и полимерных (полиамидных) элементов болтового (винтового) соединения, обладающих высокой термической устойчивостью и механической прочностью, обеспечивающий надежность крепления, герметичность кровли, увеличение срока службы кровли.

6. Практически подтверждены технологические возможности и область применения новой рациональной технологии устройства и реконструкции фальцевой кровли в условиях стройплощадки, обеспечивающие снижение теплопотерь, сокращение трудозатрат (47,6 %), продолжительности работ (61 %), повышение производительности (87,8 %), снижение сметной стоимости (57, 93 %), на основании которых разработан технологический регламент.

Теоретическая значимость работы состоит в следующем:

- обоснован выбор материала утеплителя;
- выведено уравнение зависимости снижения перемещения фанерного каркаса от прилагаемой нагрузки при совместной работе пенополиуретана и фанерного каркаса;
- обоснованы нормы времени на монтаж элементов быстросборной кровли;
- разработан и оптимизирован календарный план на устройство вентилируемой фальцевой кровли.

Практическая значимость работы состоит в следующем:

- разработана новая технология устройства и реконструкции вентилируемой фальцевой кровли, практический результат которой состоит в сокращении продолжительности устройства кровли, за счет переноса части работ в заводские условия (изготовление «термопанели», пробивка установочных отверстий в стропилах), унификации и сокращении сборочных элементов кровли, снижении трудозатрат, улучшении теплоизоляционных и гидроизоляционных качеств кровли.

- разработан новый способ соединения фальцевой кровли со стропилами (деревянные и стальные П-образные профили) с утеплителем (патент РФ № 2533463 от 19.04.2014 г; «Способ соединения фальцевой кровли со стропилами и утеплителем»);

- разработана конструкция «термопанели» с пространственным фанерным каркасом и каркасом на основе базальтовой арматуры с утеплителем из пенополиуретана (заявка на изобретение № 2015116380 от 29.04.2015);

- разработаны технологическая карта и технологический регламент по использованию новой эффективной технологии устройства фальцевой кровли, крепления и установки утепленного кровельного покрытия при возведении и реконструкции объектов различного назначения, определена область применения предлагаемой технологии.

Методология и методы исследования заключаются в анализе существующих технологий и практического опыта устройства и реконструкции фальцевой кровли; в натурных и экспериментальных исследованиях параметров технологического процесса; методах корреляционно-регрессивного анализа; методах оценки эффективности строительных технологий.

Положения, выносимые на защиту:

- сравнительный анализ существующих технологий устройства и реконструкции металлических кровель, используемых материалов утеплителя, способов крепления кровли со стропилами и утеплителем;

- обоснование выбора материала утеплителя, возможность использования пенополиуретана меньшей плотности;

- основной несущий элемент кровельного покрытия с пространственным фанерным каркасом и каркасом на основе базальтового волокна («термопанель») с использованием пенополиуретана в качестве утеплителя, имеющего верхний ребристый профиль для обеспечения необходимого воздухообмена с обоснованием необходимой высоты ребер и угла наклона кровли;

– результаты экспериментальных исследований «термопанели» в напряженно-деформируемом состоянии; зависимость снижения нарастания перемещения фанерного каркаса от нагрузки при совместной работе с пенополиуретаном и повышении несущей способности «термопанели»;

– новый эффективный способ соединения «термопанелей» и стропил с помощью дюбельной системы; выбор требуемого диаметра дюбельного соединения и крепежных элементов;

– результаты практической проверки в производственных условиях, оценка технико-экономических показателей и технологический регламент на устройство и реконструкцию вентилируемой фальцевой кровли предлагаемой автором.

Область исследования соответствует требованиям паспорта специальности 05.23.08 – Технология и организация строительства, соответствует пункту 2 паспорта: «Разработка конкурентоспособных новых и совершенствование существующих технологий и методов производства строительно-монтажных работ на основе применения высокопроизводительных средств механизации и автоматизации» [41].

Достоверность научных результатов и апробация работы: основные результаты исследований доложены на Международных научно-технических конференциях молодых ученых, аспирантов и докторантов (СПбГАСУ, 2012–2015 гг.), межвузовском научно-техническом семинаре «Современные направления технологии, организации и экономики строительства» (ВИТИ, СПб, 2013 г.); V международной конференции «Актуальные проблемы архитектуры и строительства» (СПбГАСУ, 2013 г.), Международной научной конференции «Строительство, дизайн, архитектура: разработка научных основ создания здоровой среды обитания» (г. Киров, 2013 г.), XIII международной научно-технической конференции «Эффективные строительные конструкции: теория и практика» (г. Пенза, ноябрь 2013 г.).

Результаты диссертационного исследования были апробированы в строительных компаниях ООО «Северо-восточный транзит», ООО «Разработки и

внедрения технологических решений» (Р.Т.Р.), что подтверждено справками о внедрении разработанной технологии.

Публикации:

Основные научные результаты диссертации опубликованы в 11-и научных работах, общим объемом – 3,219 п.л., лично автором – 2,6563 п.л., в том числе 4 в рецензируемых изданиях из перечня, размещенного на официальном сайте ВАК, По теме диссертационного исследования соискателем получен патент РФ на изобретение № 2533463 (соавтор А.Ф. Юдина) приоритет от 19.04.2014 и заявка на изобретение № 2015116380 (соавтор А.Ф. Юдина) «Термопанель» для утепленных кровель» от 05.05.2015.

Структура и объем диссертационной работы:

Диссертация состоит из введения, 4-х глав с выводами по каждой из них, общих выводов, содержит 171 страницу печатного текста и 34 страницы приложений, 28 таблиц, 104 рисунка и список литературы из 121 наименований работ отечественных и зарубежных авторов.

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулирована цель и поставлены задачи исследования, охарактеризована научная новизна исследования, представлена практическая значимость полученных результатов, а также приведены сведения об апробации и публикациях.

В первой главе проведен анализ существующих технологий устройства утепленных фальцевых кровель, используемых материалов утеплителей и способов крепления кровельной системы.

Во второй главе экспериментально и теоретически обоснован выбор материала утеплителя, отвечающий необходимым теплотехническим, прочностным и др. требованиям. Представлены экспериментальные исследования по разработке «термопанели» как основного несущего элемента: с пространственным фанерным каркасом и каркасом из базальтового волокна. Установлена способность материала утеплителя (пенополиуретана) при

совместной работе с каркасом значительно повысить несущую способность кровельной системы.

В третьей главе разработан новый способ крепления «термопанелей» и стропил (металлических и деревянных) с использованием крепежных металлических и полимерных (полиамидных) элементов. Проведены экспериментальные испытания крепежных элементов различного диаметра на растяжение, срыв резьбы плоских и колпачковых стальных и полиамидных гаек, а также сравнение результатов испытаний с несущей способностью металлического крепежа класса прочности 8.8.

В четвертой главе проведена производственная проверка в условиях стройплощадки и хронометраж технологического процесса устройства фальцевой вентилируемой кровли. Экспериментально подтверждены и обоснованы технологические параметры, эффективность применения быстросборных унифицированных элементов («термопанелей») и способа крепления кровельной системы, а также область применения предлагаемой автором технологии. Представлена оценка технико-экономических показателей новой технологии.

Разработаны технологическая карта и технологический регламент по использованию новой технологии устройства фальцевой кровли, крепления и установки утепленного кровельного покрытия при возведении и реконструкции объектов различного назначения.

ГЛАВА 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ УСТРОЙСТВА ФАЛЬЦЕВЫХ КРОВЕЛЬ

1.1 Особенности технологий устройства вентилируемых фальцевых кровель

В соответствии со СНиП II –26 –76* и его актуализированной версией СНиП II-26-2010 [70; 74] кровля является верхним элементом покрытия, предохраняющей здание от атмосферных осадков. Крыша, согласно СП 17.13330.2011, включает кровлю, основание под кровлю, теплоизоляцию, подкровельный водоизоляционный слой, пароизоляцию и несущую конструкцию [76]. Медь, свинец, железо, олово, никель и цинк применяются для кровельного покрытия уже многие столетия, пластичность металла позволяет выполнить легкую и долговечную кровлю любой конфигурации, как для жилых, так и для промышленных и общественных зданий, благодаря использованию различного рода приспособлений и кровельных машин. Долговечность кровли, расходы на её ремонт и эксплуатацию во многом зависят от качества монтажа и примененных кровельных материалов, как единой системы взаимосвязанных совместно функционирующих элементов, в том числе элементов крепления.

Металлические кровли получили свое название фальцевые, из-за используемого фальцевого шва – прочного, неразъемного соединения двух листовых заготовок, плотно прижатыми друг к другу отогнутыми кромками разной высоты [84 – 87; 93; 103 – 106]. Боковые кромки, вдоль ската кровли, соединяются стоячими фальцами, горизонтальные – лежащими, те в свою очередь, бывают одинарные и двойные (рисунок 1).

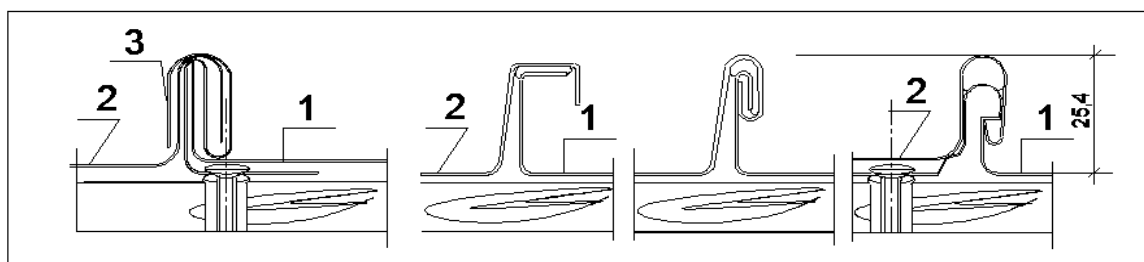


Рисунок 1 – двойной стоячий с кляммером, одинарный и самозащелкивающийся фальц: 1 – первый кровельный лист, 2 – второй кровельный лист, 3 – кляммер

На сегодняшний день фальцевые кровли выполняются в основном на

гибочных станках или механизированным способом на профилировочных станках с применением двойного стоячего фальца, и закрепляются с помощью кляммеров 3 (см. рисунок 1). Развитие кровельного оборудования позволило усовершенствовать методику выполнения фальцевой кровли и разработать новую «рулонную» технологию. Главным достоинством рулонной технологии является возможность перекрытия кровли на всю длину ската, от конька до нижней кромки, целой полосой и отсутствие лежащих фальцев, являющихся основной причиной протеканий [32; 36; 37].

Разновидностью рулонной технологии является самозащелкивающаяся фальцевая кровля. Двойной стоячий самозащёлкивающийся фальц с уплотнителем значительно экономит время при монтаже. Насчитывается более 46 разновидностей профилей фальцевого соединения, наибольшее распространение получила технология самозащёлкивающегося фальца типа финского «Ruukki Classik», к российским разработкам относится фальц «Костромской» сконструированный ООО «Новые кровельные технологии» [84; 45]. Недостаток самозащелкивающихся фальцев: вероятность самопроизвольного раскрытия под действием веса, ветровой или снеговой нагрузок. Во избежание раскрытия, рекомендуется поджимать фальцы рамками для второго прохода или закаточными машинками.

Технология монтажа кровли не менялась на протяжении десятилетий, оставаясь трудоемкой и ресурсозатратной. Возможно, этим можно объяснить, малое использование металлических кровель в современном промышленном и гражданском строительстве, даже после внедрения рулонной технологии.

Металлическая фальцевая кровля, как правило, устраивается по сплошной или разреженной обрешетке сечением 50 x 50 мм, расстояние между брусками не должно превышать 25-ти см, что предотвращает прогиб металлических листов кровли и ослабление фальцев [27; 70; 72; 74; 76]. Кровельные картины крепятся к обрешетке кляммерами, усиления конструкции, как правило, добиваются увеличением их количества.

В климатических условиях России в строительстве в основном устраивается

холодный чердак. Он хорошо вентилируется, благодаря открытым слуховым окнам, на нем, в случае возникновения, легко установить и устранить причину протечки кровли. При этом, как правило, не учитываются затраты выполнения работ по утеплению перекрытия последнего этажа, трубопроводов, коммуникаций, вентиляционных коробов, а также дверей с лестничных площадок на чердак. Устройство утепленного кровельного покрытия позволяет снизить эти затраты и при этом получить еще дополнительные полезные метры хозяйственной и жилой площади.

Распространению в России технологии устройства утепленных фальцевых кровель способствовало принятие 30 декабря 2009 года Федерального закона №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [88]. Согласно требований ст. 31 этого закона, энергетическая эффективность зданий приравнивается к требованиям безопасности зданий и сооружений, и подразумевает необходимость исполнения требований СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» [66], и его Актуализированной редакции СП 50.13330.2012 [77] и закона №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...» [90]. В результате применения этих требований должны быть созданы условия, исключающие нерациональный расход энергетических ресурсов, в процессе эксплуатации зданий и сооружений. Крыши отапливаемых жилых, производственных и общественных зданий должны не только удовлетворять требованиям прочности, долговечности, огнестойкости, экономичности, но и иметь соответствующие теплотехнические показатели.

Кровли зданий старого фонда не соответствуют современным стандартам энергосбережения. На сегодняшний день металлические кровли в Санкт-Петербурге составляют порядка 24,3 млн. м², из них, по имеющимся данным, в ремонте нуждается более 9,7 млн. м² крыш, несмотря на проведенные ремонтные работы, на большинстве неутепленных крыш, по-прежнему образуется наледь, за счет потери более 35 – 40 % тепла от общих по зданию в атмосферу [40].

Новые здания должны проектироваться уже в соответствии СП 50.13330.2012, а основным направлением реконструкции существующих зданий

должно стать повышение их энергетической эффективности [77].

К решению вопроса снижения теплопотерь и энергосбережения, необходимо подходить комплексно. Даже, утепленные ограждающие конструкции, приводят к значительным теплопотерям за счет так называемых «мостиков холода», участков интенсивного теплообмена с окружающей средой, возникающих при проседании некачественного теплоизоляционного материала, в случае расположения утеплителя между стропилами, стропила также могут служить «мостиками холода», следует учитывать и стальные крепежные элементы.

Способность металла нагреваться приводит к тому, что снег на крышах тает даже при минусовой температуре от солнечной радиации и тепла, проникающего с чердака, из-за суточных колебаний температуры в подкровельном пространстве образуется конденсат, в том числе из-за диффузионных паров. Наличие на разряженной обрешетке антиконденсатной пленки не решает проблем энергосбережения.

Основными технологическими и конструктивными параметрами устройства утепленной крыши являются: трудоемкость, долговечность, термическое сопротивление, масса получаемого кровельного пирога, герметичность кровельного покрытия.

При всех разнообразиях существующих технологий, в большинстве своем, современная утепленная крыша имеет обязательные стандартные элементы: несущие конструкции – стропила, обрешетка, теплоизоляционный слой, способствующий снижению вероятности прохождения тепла к холодному краю кровли; гидро -, пароизоляционный, разделительные слои и создание вентиляционного зазора, получаемого за счет установки контробрешетки, уложенной на основание из сплошной или разреженной обрешетки; вспомогательные элементы, снегозадерживающие устройства, системы противообледенения, молниезащиты и т. п., которые должны соответствовать требованию экологической и пожарной безопасности (рисунок 2).

В настоящее время основным решением повышения теплозащиты и

энергоэффективности крыши, в большинстве случаев, является наращивание слоев стандартного многослойного «кровельного пирога», скомпонованного из узлов и примыканий: обрешетки, контробрешетки, антиконденсатных, ветро- влагозащитных и пароизоляционных пленок, с подобранной толщиной утеплителя [8; 9; 27; 60; 61; 70; 76]. Как правило, из-за отсутствия утеплителей требуемой толщины, они укладываются в несколько слоев, также утепление выполняется не только между стропилами, но и над и под стропилами, но такое утепленное покрытие, ведет к увеличению массы кровельного пирога и, как следствие, нагрузок на нижерасположенные конструкции. К тому же на качество кровли влияют не только свойства используемых материалов, но и человеческий фактор – ошибки, допускаемые рабочими в процессе устройства кровель.

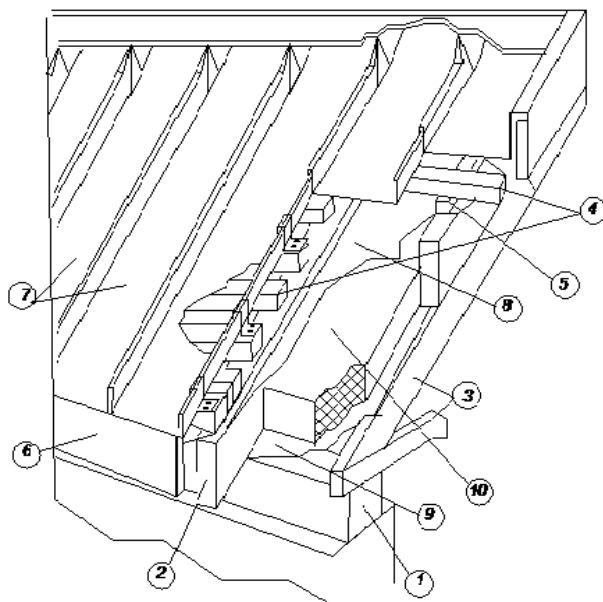


Рисунок 2 –Традиционная технология утепленной фальцевой кровли:
 1 – мауэрлат; 2 – стропило; 3 – подкос стропильной системы; 4 – обрешетка (брус 50 x 50); 5 – контробрешетка; 6 – подшив свеса; 7 – кровельные листы; 8 – ветро- влагозащитная пленка; 9 – антиконденсатная пленка; 10 – утеплитель

Другим решением повышения теплозащиты и энергоэффективности крыши является устройство вентилируемых кровель, способствующих выветриванию водяных паров и просушиванию намокших материалов, так как уже было отмечено выше, избежать конденсата в подкровельном пространстве практически невозможно. Существующие конструктивные решения и технологии не

полностью решают проблему создания вентиляционных каналов не прерывающихся от свеса до конька.

Профессор Ленинградского архитектурно-строительного института А.И. Гегелло предлагал для непрерывного движения воздуха по воздушным каналам, когда на пути у воздуха в верхней части канала появляется преграда, устанавливать специальную решетку, своего рода аэратор [15].

Известна разработка профессора Пузикова А. Н., суть которой заключается в устройстве двойной вентиляции подкровельного пространства, обеспечивая тем самым воздухообмен под кровлей [32]. Кровля устраивается по классической технологии, но кроме карнизного продуха между гидроизоляцией, контробрешеткой и кровельным покрытием, устраивается второй воздушный контур между гидроизоляцией и утеплителем. Это способствует удалению влаги из утеплителя и позволяет предотвратить поступление тепла из подкровельного пространства. Для замены утеплителя из каменной ваты (ремонта), которую в качестве утеплителя предлагает проф. Пузиков А.Н., необходимо вскрывать всю кровельную конструкцию (рисунок 3).

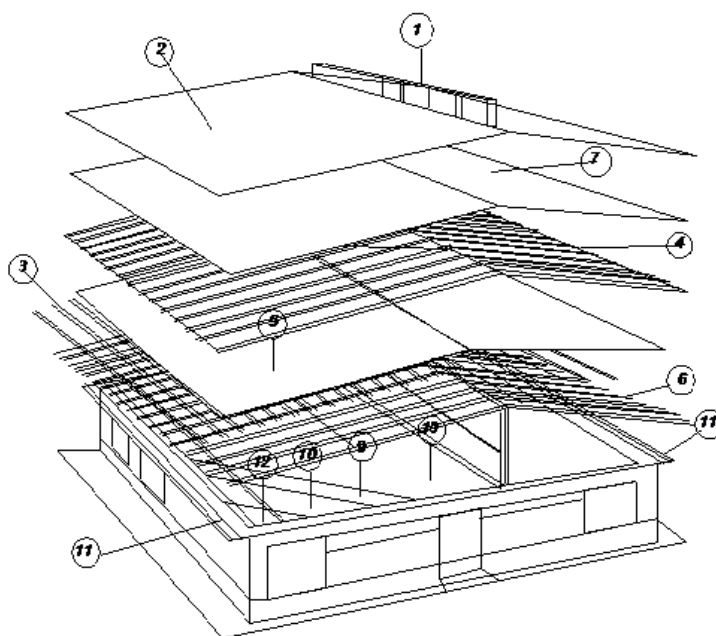


Рисунок 3 – Устройство утепленной кровли с двойной системой вентиляции:

1 – вытяжной дефлектор; 2 – кровельное покрытие; 3 – обрешетка; 4 – контробрешетка (продух); 5 – антиконденсатная пленка; 6 – стропильная система; 7 – ветрозащита; 9 – утеплитель; 10 – пароизоляция; 11 – карнизный продух; 12 – железобетонное перекрытие

Достоинством фальцевой кровли является высокая герметичность и отсутствие установочных сквозных отверстий. В основном, картины крепятся к обрешетке с помощью кляммер, которые должны быть тщательно прикреплены к основанию, в противном случае сильный ветер может их вырвать, что приведет к разрушению крыши. Количество кляммер на 1 м² определяется с учетом ширины полосы кровельных пластин и высоты здания [8; 9; 27; 70; 76].

Технология устройства утепленной фальцевой кровли достаточно материалоемкая и трудоемкая, состоит из большого числа не унифицированных сборочных элементов кровельной системы, большинство которых дорабатываются до конкретных размеров непосредственно на строительной площадке.

Известна технология устройства утепленных фальцевых кровель с использованием сборно-щитовых панелей из фибролита, способствующая снижению трудоемкости и повышению скорости монтажа [26]. Ширина панелей при этом может быть различной – от 600 до 1200 мм. Такие панели представляют собой брусчатую обвязку и внутреннюю и внешнюю обшивку. Между ними расположен утеплитель, в основном каменная или стекловата. С внутренней стороны плиты на фанерное или фибролитовое основание укладывается пароизоляция для предотвращения скапливания водяных паров внутри щита. Плиты из фибролита обладают повышенной огнестойкостью, но большой массой. Такая технология применяется редко из-за отсутствия воздушного зазора между кровельной сборно-щитовой панелью и верхним гидроизолирующим металлическим покрытием, что способствует влагонакоплению в подкровельном пространстве и разрушению кровельного покрытия, невозможности обеспечить требуемую вентиляцию и неизбежным контактом металла с древесиной.

Наиболее прогрессивной является технология устройства утепленных фальцевых кровель на основе плитных утеплителей, к которым можно отнести «сэндвич-панели» [38; 44; 83]. Применение технологии из унифицированных элементов кровельного пирога позволяет, сократить количество производимых при монтаже утепленной фальцевой кровли трудовых операций и

продолжительность устройства кровли, но при этом возникает необходимость в профессиональных рабочих, кранах, специальных грузозахватных приспособлениях и др.

Монтаж кровельных «сэндвич-панелей» требует высокой точности, с обязательной проверкой горизонтальности панелей и плотным соединением замков панелей при монтаже. Так как крепление происходит сквозь лист металла, то угол между соединительными элементами и установочное отверстие должно располагаться строго перпендикулярно поверхности облицовки панели. Малейшие отклонения расположения установочных отверстий с крепежом, от размеров, указанных в проекте, а также неточности в несущих конструкциях, негативно отразятся на результатах монтажа. Для повышения герметичности, и исключения деформации нижнего слоя панели в процессе установки и облегчения первоначальной выверки панели на несущие конструкции балок, прогонов, ригелей прикрепляют самоклеящуюся ленту.

Для устройства такой кровли необходима бригада профессиональных монтажников, использование автомобильных, башенных и других видов кранов, специальных грузозахватных приспособлений с двумя механическими захватами, вакуумные присоски и др.

Перед началом монтажа выполняется раскрой и резка панелей под конкретные размеры с удалением лишнего материала утеплителя с использованием пил или ножниц (холодная резка).

При позиционировании этой технологии как быстросборной кровли, нельзя не отметить сложность конструкции, деформативность «сэндвич-панели», низкая сопротивляемость динамическому разрушению и длительным нагрузкам (максимальная нагрузка – $3,37 \text{ кН/м}^2$), необходимость соблюдения высокой точности при сборке, низкую герметичность стыков и установочных креплений, даже при использовании замков типа Roof-Lock, необходимость установки различного рода нащельников, в местах крепления панелей с несущими конструкциями (рисунок 4).

Немаловажным недостатком является узел крепления кровельных панелей, так как крепление происходит самонарезающими винтами, то при действии отрывающих пиковых ветровых нагрузок возможно разрушение гофров в зоне крепления винта.

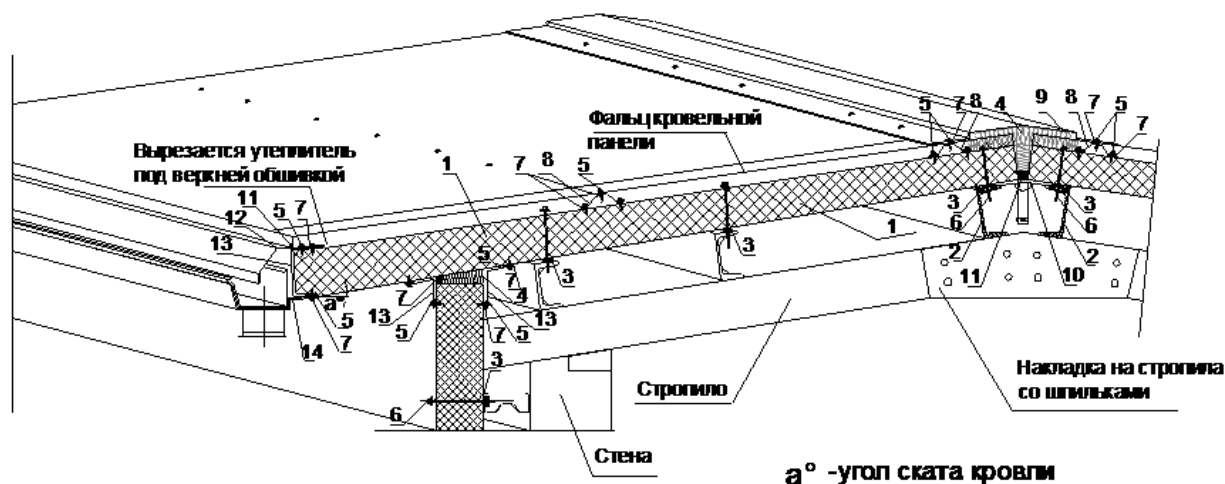


Рисунок 4— Технология монтажа кровельных "сэндвич-панелей":

- 1 – кровельная «сэндвич-панель»; 2 – обрешетка; 3 – уплотнительная лента;
- 4 – утеплитель (мин.вата, монтажная пена); 5 – самосверлящийся шуруп;
- 6 – самосверлящийся шуруп; 7 – герметик для наружных работ;
- 8 – фасонный элемент ФЭ – К 2*; 9 – фасонный элемент ФЭ – К 18*;
- 10 – фасонный элемент ФЭ– К 19*; 11 – уплотняющая масса (мастика);
- 12 – фасонный элемент ФЭ -К 7*; 13 – фасонный элемент ФЭ – К 8*;
- 14 – держатель подвесного желоба

Использование в качестве утеплителя в сэндвич-панелях волокнистых утеплителей, приводит к частым ремонтам, из-за образования льда в точке росы в холодное время года, возможности образования на стыках обледенения и промерзания «сэндвич-панелей», что ведет к ухудшению прочностных и теплоизоляционных характеристик материала.

Необходимость использования антиобледенительных систем и нагревательных кабелей для предотвращения накопления снега на поверхности панели и ее обрушения; сложность крепления коммуникаций, водосточных желобов и т. д.

На основании проведенного анализа различных технологий устройства утепленных фальцевых кровель выявлены и обобщены их достоинства и недостатки (таблица 1).

Таблица 1– Достоинства и недостатки различных технологий устройства утепленных фальцевых кровель

	Достоинства	Недостатки
Классическая технология	Стандартная и хорошо отработанная технология, полученный кровельный пирог отличается герметичностью, хорошими показателями по теплозащите и несущей способности	Увеличение слоя утеплителя ведет к: влагонакоплению, усадочным и температурным деформациям, сползанию утеплителя, ослабевает сопротивление ветровому напору, существенно увеличиваются нагрузки на ниже расположенные конструкции, возникают сложности с сохранением исторических высотных отметок, увеличивается негативное влияние «человеческого фактора», невысокий уровень сборности, повышаются материальные и трудозатраты.
Технология с двойным вентиляционным зазором	Герметичность кровельного покрытия. Конструктивное решение способствует выветриванию водяных паров и просушиванию намокших материалов, хорошие показатели по термическому сопротивлению, конструкция не способствует образованию сосулек	Существенное увеличение нагрузки на несущие конструкции здания, следует не допускать сползания материала утеплителя, возникают сложности с сохранением исторических высотных отметок, ухудшение сопротивления ветровым нагрузкам, невысокий уровень сборности, увеличение трудозатрат и продолжительности устройства кровельного покрытия, увеличение стоимости работ, увеличивается негативное влияние «человеческого фактора», сложность проведения ремонтных работ.
Утепление помощью «сэндвич-панелей»	Легкая кровельная конструкция заводского изготовления, сокращение временных затрат на возведение объекта, большое количество фасонных деталей	Полученная конструкция воздухопроницаема. Требуется крановое, профессиональное и грузозахватное оборудование при монтаже; большое количество подготовительных и выверочных работ; необходима высокая точность монтажа; необходимость дополнительной герметизации стыков; высокая деформативность панелей, в том числе и из-за суточного колебания температур [95]; необходимость сближения несущих элементов; возможен отрыв конструкции и повреждение гофр в местах крепления самонарезающих винтов; не ремонтпригодна.
Утепления помощью сборно-щитовых плит	Герметичное кровельное покрытие. Сокращение временных затрат на возведение объекта, щиты заводского изготовления, большое разнообразие размеров, при использовании утеплителей 120-180мм хорошие теплоизолирующие показатели, жесткое закрепление утеплителя между слоями обшивок исключает его возможность провисания, нет необходимости устройства обрешетки, относительно не высокая стоимость	Требуется наличие подъемных механизмов, увеличение нагрузки на несущие конструкции здания, сложность обеспечения воздушного зазора между кровельным металлическим покрытием и кровельным щитом, возможность образования и накопления конденсата в подкровельном пространстве, приводящая к разрушению кровельного покрытия

Все перечисленные технологии практически не предполагают возможность повторного использования материалов утеплителя и антиконденсатных пленок.

Таким образом, анализ существующих технологий устройства фальцевых кровель указывает на необходимость разработки новых, научно обоснованных технологий устройства и реконструкции утепленных вентилируемых металлических кровель, с применением современных теплоизоляционных материалов и унифицированных конструкций, обеспечивающих сокращение теплопотерь, снижение затрат труда с одновременным повышением качества работ и срока службы кровель в период эксплуатации здания.

1.2 Обзор используемых материалов в качестве утеплителя для крыши, сравнение их по параметрам теплопроводности, водопоглощения, долговечности, прочности, эксплуатационной надежности и экономической целесообразности

В настоящее время для эффективного сокращения теплопотерь в зданиях в качестве теплоизоляции кровель применяют стекловолокно, базальтовую вату, пенополистирол, экструдированный пенополистирол и пенополиуретан.

Впервые минеральная вата была приготовлена из доменного шлака Эдвардом Перри в 1840 г. В России начали ее производство в 1901 г. на Белорецком металлургическом заводе, а массовое изготовление началось в 1928 – 1932 гг. Самый распространенный бренд «ROCKWOOL», производится с 1937 г. в Дании. Минеральная вата имеет волокнистый состав, стекловата получается из расплавленного кварца, базальтовая – из расплавленного камня базальтовых пород или шлаков [28].

Полиуретан был синтезирован в 1937 г. немецким ученым Отто Байером. Пользуясь наработками немецких ученых, в 1957 г. США начали промышленное производство полиуретана, в СССР в конце 50-х годов. Полиуретаны – это

эластомеры, обязательно содержащие уретановые группы $-\text{NHCOO}$. Процесс изготовления материала легок, что позволяет изготавливать его не только на предприятиях, но и на местах использования. Полиуретан обладает хорошей адгезией, а при специальной обработке получают малогорючие составы [30].

Во время второй мировой войны в Америке ученый Макинтайр Рэй получил полистирол. В России с 70-х годов и по сегодняшний день более 50 % продукции выпускается по этому методу, благодаря невысокой стоимости, и простоте переработки. Современные марки вспененного экструдированного пенополистирола, производятся с добавками специальных антипиренов, уменьшающих пожароопасность, в США – применение пенопласта запрещено [29].

Выбор материала утеплителя оказывает существенное влияние на технологию устройства кровли. Материал для утепления кровли должен, прежде всего, обладать низкой теплопроводностью, для максимальной защиты внутренних конструкций от воздействий переменных температур наружного воздуха. Низкий показатель водопоглощения, указывает на то, что утеплитель меньше набирает влагу, что является важно в условиях эксплуатации.

Уровень теплозащиты должен быть не ниже требуемого сопротивления теплопередаче утеплителя для покрытия (в том числе вентилируемого наружным воздухом). Для Санкт-Петербурга $R^{mp}_o = 3,9- 4,61 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$), градусо -сутки отопительного периода для Санкт-Петербурга $\text{ГСОП} = (t_{int} - t_{om.nep})z_{om.nep} = 4796^\circ\text{C} \cdot \text{сут}$ [66].

Кроме того, важными являются такие характеристики, как простота монтажа, долговечность, эксплуатационную надежность, жесткость, так как рулонные утеплители дают усадку уже через 2 – 5 лет, экологичность, материал должен быть безвредным для здоровья. Значение этих и многих других свойств необходимо учитывать при выборе материала утеплителя.

Сравнительные характеристики используемых теплоизоляционных материалов при устройстве утепленных кровель приведены в (таблица 2.) [8; 9; 23; 66; 77; 77; 79; 81; 82; 92; 95; 96].

Таблица 2 – Сравнительные характеристики используемых теплоизоляционных материалов

Показатели	Пенополиуретан	Экструдированный пенополистирол	Пенополистирол «ПСБ-С»	Плиты из минеральной (базальтовой) ваты	Маты и плиты из стеклянного штапельного волокна
Структура материала	Газонаполненная пластмасса 92-95% закрытых ячеек, диаметром 0,2-0,8 мм	Закрытая ячейка, диаметром 0,5-1,2 мм	Прессованные вспученные гранулы, диаметр 2-5 мм	Волокнистый материал Диаметры волокон: 0,5-3 мкм (супертонкое) 3-6мм (тонкое)	Волокнистый материал, диаметр волокна 4-5 мкм
Плотность кг/м ³	38-60, жесткие плиты до 160	35- 45 (± 10 %)	12 – 80 (± 10 %)	37-180 (± 20 %) жесткие плиты по сравнению с ППУ тяжелее	11-30 (± 20%)
Удельная теплопроводность, λ , Вт/(м.°C), среды не зависит	0,019-0,028	0,028-0,04	0,034-0,044	0,038-0,058	0,037-0,050
Эквивалентная толщина, мм	10	17	17,5	25	25
Теплопроводность Вт/(м.°C), при условиях эксплуатации «А»	0,019-0,028	0,029-0,04	0,041-0,048	0,042-0,049	0,042-0,048
Теплопроводность Вт/(м.°C), при условиях эксплуатации «Б»	0,019-0,028	0,03-0,04	0,043-0,050	0,045-0,060	0,046-0,055
Сорбционная влажность за 24 часа по массе, %	Условия эксплуатации «А» - 1,15; «Б» - до 4,4	Условия эксплуатации «А» - 2; «Б» - 3	2...12	Условия эксплуатации «А» - 3; «Б» - 15,5 %	Условия эксплуатации «А» - 3; «Б» - 15,5 %
Водопоглощение, % по объему за 24 часа	0,8 -2,0 (за 24 часа) За 168 час, не более 2,2	0,4-1,2 (за 24 часа) 4 % (30 суток)	2-8 (за 24 час.)	40-56 (для гидрофобизированных.), до 80%	40- 60 (для гидрофобизированных.)
Паропроницаемость, мг/(м*ч*Па)	≤ 0,05	0,013-0,018	0,015-0,023	0,30-0,32	0,32-0,47
Необходимое требование к теплоизоляции сохранность изоляционных свойств, при изменении условий эксплуатации. Теплопроводность воды 0,58 Вт/(м.°C), льда 2,3 Вт/(м.°C). Изменение температуры и влажности окружающей среды, вызывают повышение влажности в материале, делая его проводником тепла. Например: минеральная вата при повышении влажности на 5% увеличивает теплопроводность до 50%. Волокнистые материалы при увлажнении на 30 % имеют теплопроводность 0,18, согласно ГОСТ 16381-77 материал не является теплоизолирующим.					
Долговечность фактическая, лет	30 и более (для жестких ППУ)	Не более 15 (с ремонтами в инверсионной кровле, раз в 5 лет)	2-15 (до разрушения)	1-10 лет (при заявленной до 50 лет) Частые ремонты (потери в массе до 8 % в год, пыление)	1-7 лет Частые ремонты (потери в массе из-за пыления)
Вид сырья связующее в каменных материалах делает их горючими.	Реакция полиола с изоцианатом	Гранулы полистирола, вспенивающие добавки	суспензионный полистирол	Горные породы, вулканические шлаки, с органич. добавками в связующем (2 до 10% фенолформальдегидные смолы)	Кварцевый песок, доломит, глинозем, связующее Фенолформальдегидные смолы ≤ 5%

Продолжение таблицы 2

Показатели	Пенополиуретан	Экструдированный пенополи-стирол	Пенополистирол «ПСБ-С»	Плиты минеральной (базальтовой) ваты	Маты и плиты из стеклянного штапельного волокна
Горючесть	Самозатухающий, токсины при горении не выделяет, Г1-Г3,В1 PIR-панели более огнестойки, при горении выделяется от 0,7 до 1,6% изоцианата, имеющегося в полимочевине и золе	Г3,В2,Д3,РП1 и Г4,В3,Д3,Т3 (угарный газ, стирол), РП4 Ядовитый дым	Г3,В2,Д3,Т2, Т3, РП4 (угарный газ стирол), Возможно самовозгорание обильное выделение (267 мг/м ³) токсичного чёрного дыма. (скорость горения около 10,5 м/мин).	НГ, Т2 Волокнистые материалы пропускают дым, испаряется связующее вещество, материал проседает и осыпаются.	Для марок плотностью до 30 - НГ Для остальных: Г1, Г2, Т2,РП1
Температура применения, °С.	-100...+160 (-80...140 – не изменяет свои свойства) При t ≥ 160°C. – начинает оплавляется с выделением токсичных веществ Необходим защитный слой от солнца	(-50...+80) При t ≥ 80°C. -разлагается с выделением токсичных веществ (мономер стирол)	(-50...+75) При t ≥ 80°C. -разлагается с выделением (мономер стирол), при t ≥ 200°C. возможно самовозгорание	(-180 до +250) При t ≥ 250°C. – испаряется связующее. Плавится при t от 800 °C.	(-60 до +180) При t ≥ 180°C. – испаряется связующее вещество. Плавится при 550°C
Сжимаемость, %	≤ 2	≤ 4,5	≤ 30	до 30 устанавливать каркасные конструкции	70-90 при нагрузке 2 кПа
Усадка, %	≤ 1 (под расчетной нагрузкой)	≤ 3,5 (под расчетной нагрузкой)	≤ 30 (под расчетной нагрузкой)	≤ 10-20 (без нагрузки), усадка с течением времени	≤ 15-50 (без нагрузки), усадка с течением времени
Прочность на сжатие при 10% линейной деформации	0,3 МПа (Допустимая нагрузка – 1,93 кг/см ²) После 140 циклов замораживания и оттаивания прочность уменьшается при увлажнении на 5% прочность на 20%	0,243МПа (при нагреве до 60°C прочность уменьшается до 30 %) Через 5 лет эксплуатации понижается на 11 %	0,02-0,2 МПа (при нагреве до 60°C прочность уменьшается до 30 %)	0,018-0,045МПа	0,016-0,040МПа
Прочность на изгиб, МПа	0,35-1,9	0,2-0,7 Через 5 лет эксплуатации понижается на 17-25 %	0,04- 0,35		
Предел прочности на отрыв , МПа	≤ 0,1-0,3	≤ 0,08	≤ 0,08	≤ 0,01-0,03, возможно сползание материала	≤ 0,03, возможно сползание материала
*Для материалов подверженных деформации необходимо применять дополнительные защищающие их от этих деформаций конструкции, а значит ухудшение термического сопротивления конструкции. *Экспериментальные исследования, в том числе и автора, показали, благодаря адгезии пенополиуретана происходит усиление конструкции из дерева, или фанеры на 35%-120% в зависимости от применяемых материалов.					

Продолжение таблицы 2

Показатели	Пенополиуретан	Экструдированный пенополистирол	Пенополистирол «ПСБ-С»	Плиты минеральной (базальтовой) ваты	Маты и плиты из стеклянного штапельного волокна
Экология	Экологически нейтрален Сильно токсичен при вспенивании до высыхания. Не поддается утилизации	Не поддается утилизации	Не поддается утилизации	Необходимо при установке использовать средства индивидуальной защиты, выделение большого количества пыли, Аллерген.	Необходимо при установке использовать средства индивидуальной защиты, Не поддается утилизации
*Единицы измерения: $1 \text{ т/м}^2 = 0,1 \text{ кг/см}^2 = 10 \text{ кПа} = 0,01 \text{ МПа} = 9810 \text{ Н/м}^2 = 9,81 \text{ кН/м}^2$ $1 \text{ кал} = 4,187 \text{ Дж}$ или $1 \text{ Дж} = 0,239 \text{ кал}$ **Данные взяты и обобщены в таблицу из учебника В.П. Ярцева, О.А. Киселевой «Прогнозирование поведения строительных материалов при неблагоприятных условиях эксплуатации», и технико-экономических показателей поставщиков материалов, www.teplotorg.com					

Автором проведен сравнительный анализ свойств рекомендуемых к применению материалов утеплителей по теплопроводности, долговечности и эксплуатационной надежности.

Согласно СП II-3-79*, СНиП 23-02-2003 [79; 66], термическое сопротивление слоя ограждающей конструкции(или однородной)определяется:

$$R = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (1),$$

где λ - коэффициент теплопроводности слоя материала Вт/(м.⁰С), δ - толщина слоя материала, м.

По приложению 3 СП II-3-79* расчетный коэффициент теплопроводности для волокнистых теплоизоляционных материалов по условиям эксплуатации «А» выше показателей материала в сухом состоянии в 1,1 – 1,15 раза, а для эксплуатационных условий «Б» его показатели превышают показатели в сухом состоянии в 1,2 – 1,25 раза (таблицы 3, 4, 5) (рисунки 5, 6).

Таблица 3 – Расчет сравнительных характеристик используемых теплоизоляционных материалов в зависимости от условий эксплуатации

Условия эксплуатации	Название материалов утеплителей						
	ППУ	экстр.п-л (укажите какой именно экструдированный пенополистирол)	Knaufгепм	Ursa	Isover	Paroc	Rockwool
Номинальные	0,024	0,03	0,039	0,043	0,044	0,045	0,048
А	0,024	0,039	0,04	0,045	0,046	0,046	0,052
Б	0,024	0,04	0,044	0,048	0,05	0,048	0,058
Увлажнение на 2%	0,024	0,04	0,044	0,054	0,055	0,052	0,06
Увлажнение на 5%	0,024	0,04	0,044	0,064	0,065	0,052	0,072
Увлажнение на 25%	0,024	0,042	0,046	0,073	0,075	0,054	0,098

Плотность сравниваемых материалов указана в таблице 2, пункт 2.

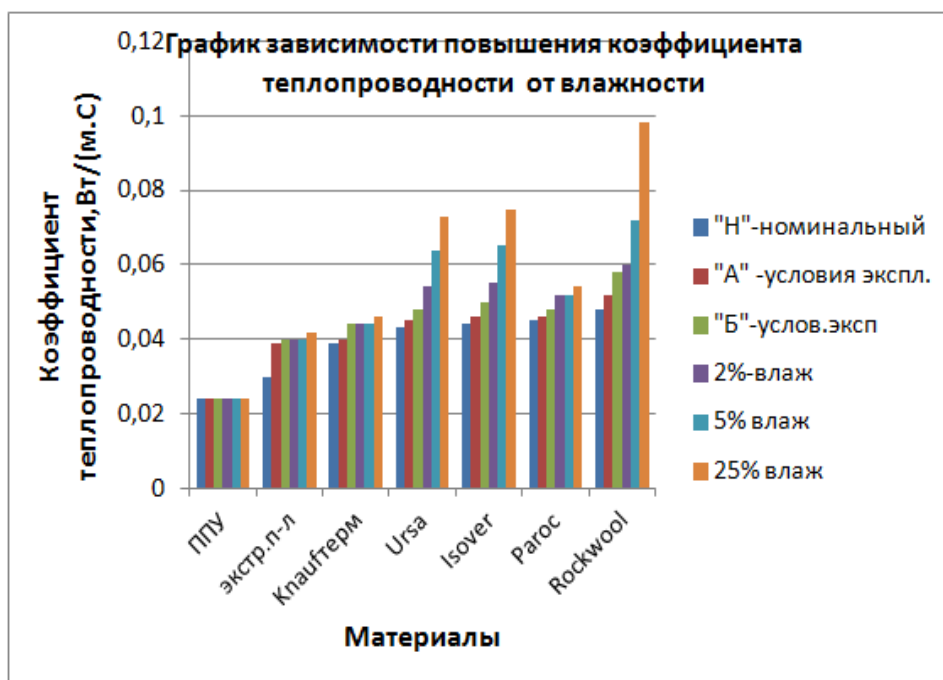


Рисунок 5 – Зависимость повышения коэффициента теплопроводности от влажности

При длительной эксплуатации, соответствующей 30 летнему периоду, изменение коэффициента теплопроводности пенополиуретана составляет около 30 %, что значительно ниже, чем у всех существующих теплоизоляционных материалов, применяемых в строительстве.

Таблица 4 – Расчет зависимости повышения коэффициента теплопроводности материалов от сроков эксплуатации и долговечности материала

Срок эксплуатации	Название материалов утеплителей						
	ППУ	экстр.п-л	Кнауфтерм	Ursa	Isover	Paroc	Rockwool
1год	0,024	0,03	0,039	0,043	0,044	0,045	0,048
2года	0,024	0,04	0,044	0,054	0,055	0,052	0,058
3года	0,025	0,048	0,048	0,073	0,075	0,056	0,065
5лет	0,026	0,059	0,06	0,092	0,086	0,06	0,075
7лет	0,028	0,078	0,079		0,096	0,082	0,092
10лет	0,032		0,1				0,12
15лет	0,036						
30лет	0,039						

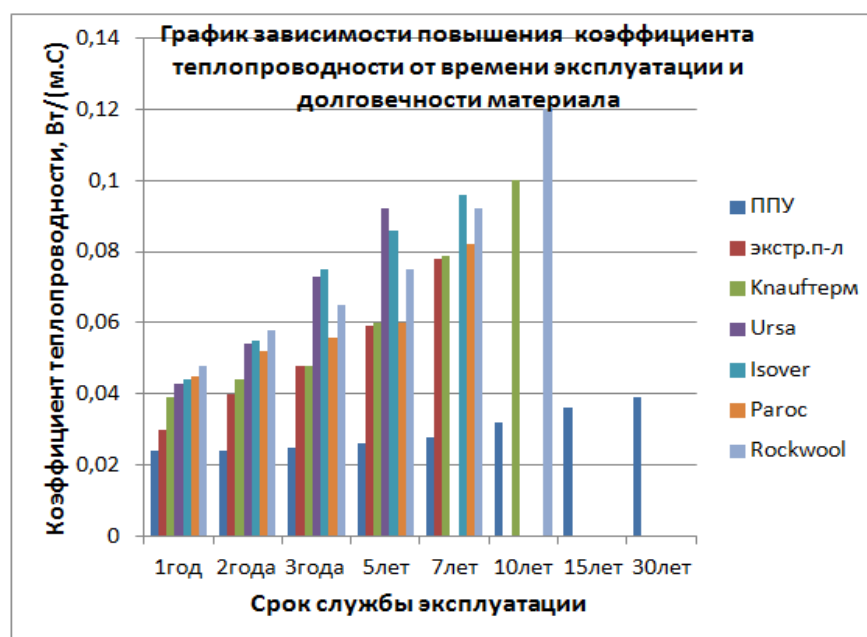


Рисунок 6— Зависимость повышения коэффициента теплопроводности от сроков эксплуатации и долговечность материала утеплителя

Таблица 5 – Сравнение стоимости 1 м³ материалов утеплителей [23,46,48,109–115]

Название материала	Цена, тыс.руб/1м3	Коэффициент теплопроводности,Вт/(м.°С)
ППУ	8,400	0,024
Экструдированныйп-стирол	6,272	0,03
KNAUF термо	7,672	0,039
URSA	4,800	0,043
ISOVER	4,652	0,044
PAROC	4,823	0,045
Rockwool	7,028	0,048

Стоимость кровельной конструкции с использованием пенополиуретана выше стоимости кровельной конструкции с использованием минеральной ваты, но при этом нет необходимости использовать ветро- и влагозащитные пленки, крепить нижний слой мата или укладывать на сплошной настил, чтобы избежать провисание, что значительно увеличивает продолжительность и стоимость работ по устройству утепленной кровли, чем существенно сокращают разницу в стоимости, и при этом необходимо отметить, что масса конструкции с использованием минеральной ваты значительно больше, а несущая способность составляет примерно 25–35% от несущей способности ППУ.

Произведя расчет по критерию оценки энергоэффективности материалов утеплителя при одинаковом сроке долговечности по формуле, предложенной Пастушковым П.П.[42]:

$$E_{\text{ут}} = \frac{T_{\text{долг}}}{C_{\text{ут}} \cdot \lambda}, \text{ (КВтч/м}^3 \text{ в год)} \quad (2),$$

где λ – расчетная теплопроводность используемого материала утеплителя Вт/(м·°C), $C_{\text{ут}}$ – стоимость материала утеплителя, руб/м³, было выявлено, что различные материалы могут иметь одно и то же значение энергоэффективности, особенно на первоначальных сроках эксплуатации за счет разницы в стоимости и значений расчетной теплопроводности (таблица 6, рисунок 7).

Таблица 6 – Энергоэффективность материалов утеплителей в зависимости от сроков эксплуатации

Срок эксплуатации	Название материала утеплителя						
	ППУ	экстр.п-л	Кнауфтерм	Ursa	Isover	Paroc	Rockwool
1год	0,005	0,005	0,0033	0,005	0,005	0,0046	0,003
2года	0,01	0,008	0,006	0,008	0,008	0,008	0,005
3года	0,015	0,01	0,008	0,009	0,009	0,011	0,007
5лет	0,023	0,0135	0,01	0,011	0,0125	0,017	0,0092
7лет	0,03	0,014	0,011		0,0156	0,0177	0,011
10лет	0,0373		0,013				0,012
15лет	0,05						
30лет	0,092						

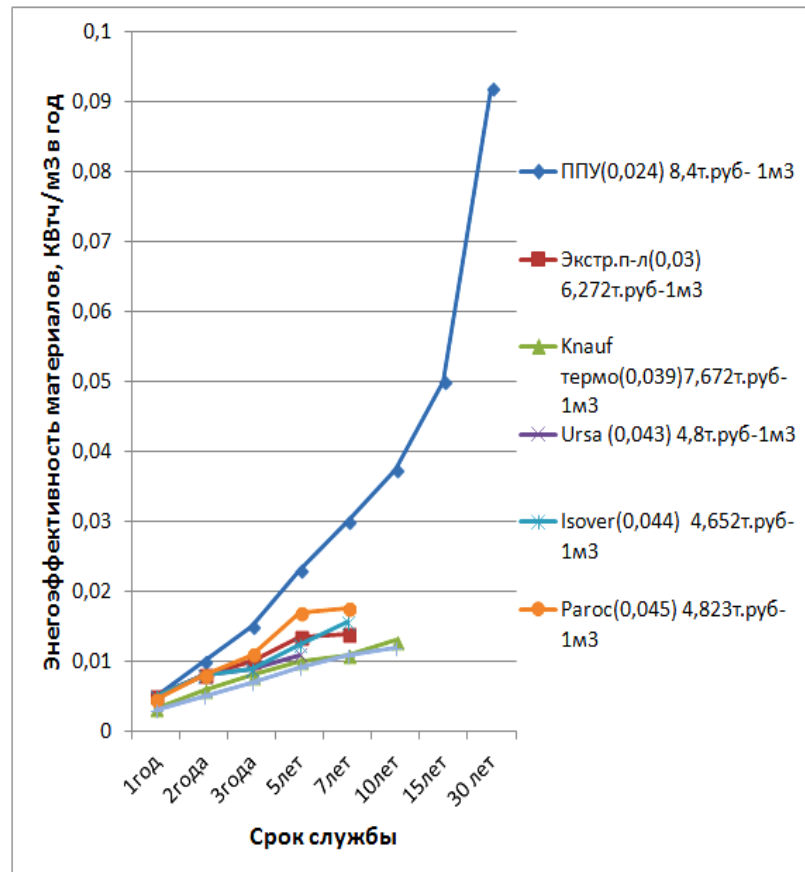


Рисунок 7 – Зависимость значений энергоэффективности материалов утеплителей

Таким образом, на основании обзора существующих материалов, используемых в качестве утеплителей, их свойств – долговечности и эксплуатационной надежности, а также эксплуатационных особенностей конструкций кровли и протекающих в них физических и химических процессов, а также требований экологической и пожарной безопасности показал, что при высокой первоначальной заявленной стоимости, наиболее эффективным материалом утеплителя является жесткий мелкоячеистый пенополиуретан.

1.3 Анализ способов крепления кровельной системы, применяемых в технологии устройства фальцевых кровель

Технология устройства утепленной металлической кровли является дорогостоящей и трудозатратной. Продолжительность устройства кровли зависит от сложности монтажа верхнего кровельного покрытия и крепления кровельной системы. При этом важно учитывать совместимость материалов, из которых выполнены элементы кровли и крепежа [8; 9; 27; 70; 74; 103–106]. Крепежные элементы не должны влиять на снижение эффективности теплозащиты и образование дополнительного конденсата из-за возможного негативного влияния «мостиков холода», образующихся в местах установки стальных крепежных элементов, количество которых достаточно велико.

Количество креплений на 1 м^2 кровли и расстояния между ними зависят от высоты здания, ветровых нагрузок, формы и размеров кровли. Согласно нормам расхода материальных ресурсов на ремонт конструктивных элементов жилых зданий на устройство 100 м^2 металлического кровельного покрытия расходуется 64 кг гвоздей [8; 9; 12; 25; 27; 36; 70; 74; 103–106].

При креплении кровельного покрытия на металлические стропила, как правило, выполняются сварочные работы, что не желательно в условиях производства работ на высоте. При креплении кровельного покрытия на легкие стальные конструкции (ЛСТК), когда применение сварочных работ невозможно, используется болтовое соединение: сначала прикручиваются уголки обрешеток

болтовым соединением и к ним уже крепится кровельное покрытие, что способствует снижению трудозатрат, повышению качества и точности монтажа кровли.

При установке на деревянные стропила обрешетка закрепляется гвоздями или саморезами, затем на ней закрепляется паробарьер, на который укладывается слой утеплителя и покрывается антиконденсатной мембранной пленкой, затем прибивается контробрешетка и закрепляется кровельное покрытие.

В настоящее время известны различные способы крепления кровельных систем, которые отражены в трудах и изобретениях отечественных и зарубежных ученых [10; 13; 54; 99 – 102].

Известна конструкция «Соединение металлических полос», где вдоль охватываемой кромки, у основания внешней стороны гребня, выполнен ряд отверстий, через которые пропущены крепежные элементы в виде саморезов, для жесткого крепления металлических полос к деревянной обрешетке, а сверху эта конструкция от воздействия атмосферных осадков закрывается следующей полосой [13].

Для соединения металлических полос были созданы кровельные станки, способные выпускать панель-картины с «клик-фальцем» и перфорированной крепежной рейкой для быстрого монтажа, такие как Schiebach Quadro (Германия) и кровельный станок СФПЗ (МОБИПРОФ Россия) (рисунок 8).

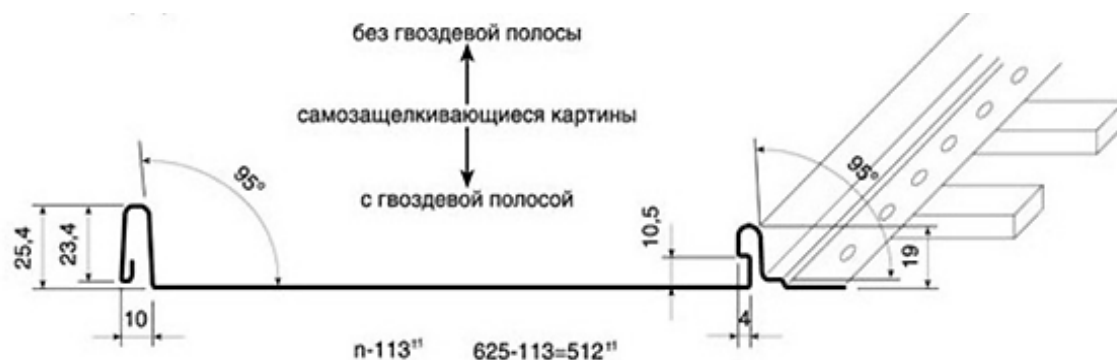


Рисунок 8 – Профиль картины самозащелкивающегося фальца (копия из буклета станка МОБИПРОФ)

К недостаткам этого технологического решения можно отнести то, что этот

способ крепления применим только для «деревянной» стропильной системы, предполагающей наличие сплошной обрешетки, в противном случае появляется вероятность повреждения кровельной системы от ветровой и снеговой нагрузок, т. к. возможно снижение надежности крепления. При устройстве утепленной кровли, такая вероятность только увеличивается, при этом также возможно сжатие утеплителя в местах крепления.

Необходимо использование крепежных элементов только совместимых с материалом кровли. Крепежные элементы являются основными источниками образования «мостиков холода» и их необходимо изолировать. В настоящее время для предотвращения образования «мостиков холода» устанавливается дополнительный слой утеплителя под или над стропилами, крепежные элементы покрываются сверху пластмассой или используются дюбели из пластмасс и минимизируется возможный контакт разнородных металлов.

Известны такие способы как: «Крепежные системы и метод для герметизации фасада или крыши»; «Метод для размещения элемента крепления и крепежных элементов, используемых с ним»; «Крепежный узел составных облицовочных конструкций»; «Способ и устройство для крепления изоляционных материалов»; «Метод фиксации и фиксирующее устройство» и др. [10; 13; 54; 99–102] .

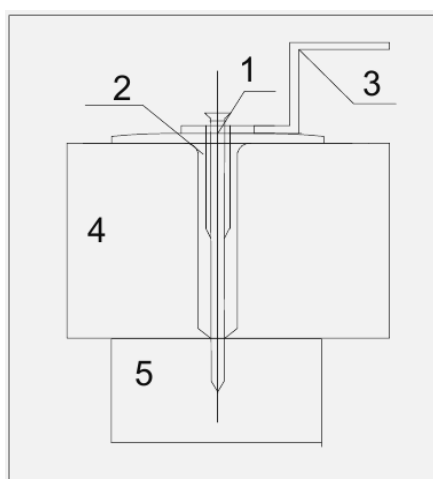


Рисунок 9 – Крепежный узел составных облицовочных конструкций:
1 – крепежный элемент; 2 – дюбель; 3 – кляммер; 4 – устанавливаемый элемент;
5 – несущий элемент

Из перечисленных способов, наиболее технологичной является полезная

модель «Крепежного узла составных облицовочных конструкций (варианты) (рисунок 9), в которой крепление кровли осуществляется при помощи кляммер, выполненного в виде одной изогнутой пластины, выступающая часть которой предназначена для закрепления элементов кровельной конструкции – 1 вариант, а во втором варианте имеется отверстие за счет которого кляммер закреплен на дюбеле, удерживающем утеплительный материал, относительно строительной конструкции посредством элемента крепления [10].

Недостатком предложенной модели, является сложность и большая трудоемкость выполнения работ. В данном креплении высокий процент скрытых работ и выполнение его требует профессионализма в работе, ошибки могут проявиться только в процессе эксплуатации крыши, приводя к отрыву кровельного покрытия от ветровых и снеговых нагрузок. На рисунке 9 дюбель не является крепящей конструкцией, после его установки приходится закреплять конструкцию при помощи шурупа «вслепую», за счет наличия утеплителя, длина крепящего конца шурупа не препятствует возможному выдергиванию в процессе эксплуатации.

Основными недостатками рассмотренных способов крепления кровельной системы при устройстве вентилируемой фальцевой кровли, являются сложность и большая трудоемкость выполнения работ, из-за необходимости предварительного закрепления кровли в установочное положение и возможное образование «мостиков холода» в местах установки крепежных элементов. Дюбеля не являются временной несущей конструкцией, их установку приходится выполнять «вслепую» и закреплять конструкцию при помощи шурупа или гвоздя, что ухудшает надежность крепления и не препятствуют возможному выдергиванию в процессе эксплуатации. Несоразмерная величина шляпки крепежных элементов способна снизить надежность фальцевого соединения. Для выполнения этих способов необходимы профессиональные рабочие, ошибки проявляются только в процессе эксплуатации крыши, приводя к отрыву кровельного покрытия от ветровых и снеговых нагрузок.

Таким образом, при разработке технологии устройства утепленной металлической кровли возникает необходимость в разработке новых способов

крепления кровельной системы, применение которых позволит снизить продолжительность, трудоемкость и стоимость работ.

Выводы по 1 главе

На основании выполненного обзора и анализа существующих технологий устройства и реконструкции металлических кровель выявлены их существенные недостатки, такие как: высокая теплопроводность, не соответствующая современным требованиям энергоэффективности; отсутствие унификации элементов кровли; высокая трудоемкость и стоимость производства работ; низкое качество кровли, вызывающее необходимость досрочного ее ремонта. Установлено, что технология устройства утепленного кровельного покрытия зависит от способов соединения кровли со стропилами и утеплителем, а также используемых теплозащитных материалов и крепежных элементов.

На основании выполненного анализа сформулированы цели и задачи исследования.

Цель исследования – разработка эффективной технологии устройства и реконструкции вентилируемой фальцевой кровли из унифицированных быстросборных элементов, экспериментально-теоретическое обоснование технологических параметров процесса устройства кровли с учетом использования эффективного материала утеплителя и его крепления с кровельной системой.

В соответствии с определенной целью, проведенным сравнительным аналитическим обзором существующих технологий устройства и реконструкции металлических кровель, используемых материалов утеплителя, способов крепления кровли со стропилами и утеплителем, определены основные

технологические параметры процесса устройства кровли, и сформулированы следующие научные задачи исследования:

- теоретически и экспериментально обосновать выбор материала утеплителя, отвечающего необходимым требованиям теплопередаче, прочности и экономической целесообразности;
- разработать быстросборный элемент – «термопанель» с учетом обеспечения необходимого воздухообмена кровли с определением ее формы, оптимальных размеров и несущей способности;
- разработать новый эффективный способ соединения фальцевой кровли со стропилами (металлическими и деревянными) и утеплителем с использованием крепежных металлических и полимерных (полиамидных) элементов; провести экспериментальные исследования их прочностных свойств;
- разработать эффективную технологию устройства и реконструкции вентилируемой фальцевой кровли из унифицированных быстросборных элементов, провести хронометраж технологического процесса монтажа термопанелей в реальных условиях строительной площадки с оценкой технико-экономических показателей ее практического использования;
- разработать технологический регламент и технологическую карту по реализации новой технологии устройства и реконструкции вентилируемых фальцевых кровель из унифицированных быстросборных элементов.

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УТЕПЛИТЕЛЯ. РАЗРАБОТКА «ТЕРМОПАНЕЛИ» КАК ОСНОВНОГО НЕСУЩЕГО ЭЛЕМЕНТА БЫСТРОСБОРНОЙ КРОВЛИ

2.1 Экспериментальные исследования обоснования выбора материала утеплителя, отвечающего требованиям теплопроводности, водопоглощения, долговечности, прочности, эксплуатационной надежности и его стоимости

Выбор материала утеплителя оказывает существенное влияние на технологию монтажа, качество, долговечность покрытия и осуществляется на основе анализа свойств существующих материалов, используемых в качестве утеплителей – энергоэффективности, долговечности и эксплуатационной надежности, а также требований пожарной и экологической безопасности.

На основании сравнения показателей теплопроводности при длительной эксплуатации, соответствующей 30 летнему периоду, изменение коэффициента теплопроводности пенополиуретана составляет около 30 %, что значительно ниже показателей существующих теплоизоляционных материалов, применяемых в строительстве (см. рисунки 5,6).

Также было выявлено, что различные материалы могут иметь одно и то же значение энергоэффективности, особенно на первоначальных сроках эксплуатации за счет расчетной их теплопроводности и разницы в стоимости материала утеплителя (см. рисунок 7).

Наибольший интерес для практического использования материала утеплителя имеют показатели теплопроводности и долговечности, которые в первую очередь зависят от способности материала утеплителя поглощать и удерживать влагу.

На основании проведенных практических исследований автором было установлено, что весовое влагопоглощение пенополиуретана составляет 20% от объема, каменной ваты 80%, пенопласта 46%. Волокнистый материал каменной ваты, после увлажнения теряет форму, способен набрать значительно большее количество влаги, и значительно медленнее отдает ее при просыхании, что может

служить причиной образования плесени (Рисунки 10, 11).



Рисунок 10 – Каменная вата через две недели просушки после проведения эксперимента на водопоглощение со следами плесени



Рисунок 11 – Фотоснимок сэндвич панели с базальтовым волокном, через полтора года с момента установки

Исходя из повышения требований безопасности к строящейся конструкции [87], автором также были произведены экспериментальные исследования базальтовой ваты и пенополиуретана при температурном воздействии с контролируемым нагревом. Полистирол, как материал с возможным самовоспламенением в испытаниях на термостойкость не испытывался.

Цель проведения эксперимента: на основании данных о термостойкости каменной ваты, провести проверку возможного запаса прочности рабочих качеств ППУ при термических нагрузках. Для проведения эксперимента использовался сушильный шкаф Drying Oven ES-4610. В процессе испытания выдерживание образцов осуществлялось в течение 40 мин. С постепенным нагревом до температуры 300°C (начало испарения связующего вещества базальтового волокна 250 – 300°C). Контролировалось изменение массы образцов, термические

изменения объема образцов, хронометраж процесса нагрева и фотофиксация результатов (рисунок 12).



Рисунок 12 – Проведение сравнительных экспериментов на термоустойчивость пенополиуретана и каменной ваты

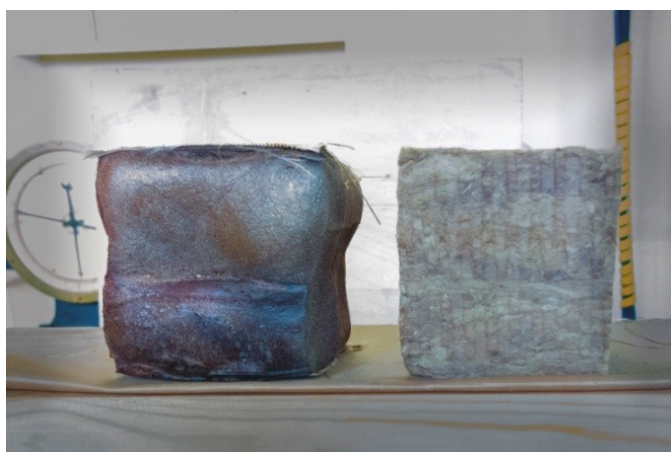


Рисунок 13 – Вид пенополиуретана и каменной ваты после испытаний



Рисунок 14 – Вид панели сушильного шкафа с характерным налетом, выделившимся при испытании на термостойкость смол

Для проведения испытаний были вырезаны кубы с гранями приблизительно

100 x 100 x 100 мм из базальтовой ваты «Rockwool» и пенополиуретана, произведенного заводом «Лиссант» в Санкт-Петербурге (таблица 7, рисунки 12 – 14).

Таблица 7 – Данные эксперимента на температурное воздействие (Термогравиметрия)

Показатели	Название материала	
	ППУ	Каменная вата «Rockwool»
Начало испытаний	13.10	13.10
Первоначальные размеры образца	99,96x100,68x101,31мм	106,11x107,26x104,65мм
Размеры после проведения испытаний	100,96x102,11x106,67мм	96,95x 101,58x 99,58мм
Первоначальный вес, гр	53,255	140,33
Вес после проведения испытаний	48,64	137,55
Температура первоначальных изменения в материалах 150°C	Видимых изменений не заметно	Вата начала проседать, начал выделяться газ
175,3°C	Слегка увеличивается в размерах(начинает «подходить»)	=
199,3°C	Начинают скругляться углы	=
207°C	Желтеет цвет и внизу куба появляются осадочные трещины	Вата продолжает оседать, с выделением дыма
230°C	Начинают образовываться трещины, с характерным растрескивающимся звуком, нижняя часть панели куба постепенно коричневет	вата слегка темнеет
Время проведения испытаний 13.30, t=240°C	Высота образцов начинает сравниться, ППУ проседает	Изменение не существенны, темнеют внешние волокна
Время проведения испытаний 13.35, t=260°C	Низ куба коричневый, но куб пока выше ваты	=
Время проведения испытаний 13.38, t=273°C	Стенки куба темно-коричневые, их начинает выгибать, появляются складки	=
Время проведения испытаний 13.43, t=282°C	Низ куба темно-коричневый	=
Время проведения испытаний 13.45, t=290°C	Появляется запах	=
Время проведения испытаний 13.50, t=295°C, время прекращения испытаний	Характерные хлопки с растрескиванием, камеру затягивает дымом...	Едкий дым, сложно определить какому материалу он принадлежит, вата заметно изменила цвет волокон

В результате проведенного эксперимента установлено, что базальтовая вата «Rockwool» получает наибольшие изменения в виде усадки, потери массы образца, сопровождающиеся выделением дыма с наличием фенольных веществ (рисунок 12), наполнивших воздух резким и едким запахом, в начале эксперимента, при температурах в +150 +210°C., Пенополиуретан нагрев до температуры в +170°C выдержал без видимых изменений, последующий нагрев с выдерживанием в сушильном шкафу *Drying Oven ES-4610* до температуры в +293°C, ППУ перенес с потерей формы из-за термического расширения, и последующей потери массы, с изменениями своих свойств(начало спекания), но

без самовоспламенения. На основе полученных результатов можно сделать вывод, что термическая устойчивость пенополиуретана значительно выше ранее заявленной $+160\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Плотность материала оказывает непосредственное влияние на вес будущей конструкции, и ее стоимость, так как сырье это основная составляющая стоимости материала. Плотность каменной ваты и пенополистирола не оказывают существенное влияние на изменение теплопроводности получаемого материала утеплителя, а только влияют на его прочностные характеристики. Пенополиуретан имеет очень большие градации в плотности материала, которые влияют не только на его стоимость, но и на теплопроводность.

Автор, по договоренности с фирмами изготовителями, непосредственно присутствовал при производстве плит из пенополиуретана и пенополистирола. Визуальные наблюдения за процессом вспенивания пенополиуретана, и поперечного разреза полученной в пресформе плиты, выявили способность пенополиуретана уплотняться ближе к поверхности пресформы в процессе вспенивания, наблюдалось некоторое уменьшение и уплотнение ячеек пенополиуретана ближе к ее поверхности, тем самым создавая более плотную структуру материала из-за продолжающейся реакции вспенивания. На производстве материалы, имеющие различную плотность на поперечном разрезе, называют интегральными. Этот процесс наблюдается только в процессе изготовления плитного утеплителя, поскольку в замкнутом пространстве расширение массы пенополиуретана не возможно. В напыляемом пенополиуретане подобное не наблюдается.

В виду важности приведенного выше наблюдения, тесной взаимосвязью между плотностью пенополиуретана его ценой, влиянием коэффициента теплопроводности на требуемую эквивалентную толщину элемента, автором были проведены испытания с использованием приборов для определения теплопроводности и термического сопротивления материалов при температурах образцов от $+15\text{ }^{\circ}$ до $+42,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, с автоматическим термостатированием температур холодильника и нагревателя в процессе испытаний ИТП -МГ4-«250», и «Зонда»

ИТП- МГ4 [21](рисунок 15).

Цель проведения испытаний: определить коэффициенты теплопроводности нескольких образцов, вырезанных из разных частей одной пенополиуретановой плиты, для подтверждения влияния уплотнения материала при вспенивании на плотность и теплопроводность определенных участков пенополиуретановых панелей.

Для проведения эксперимента, были вырезаны три образца из разных частей одной пенополиуретановой плиты размерами приблизительно 100 x 100 x 50мм, без наличия внутренних каркасов, изготовленной ООО «СтройИзоляция» (таблица 8). Образцы были предварительно взвешены. Для взвешивания были использованы лабораторные электронные весы AG 200 с ценой деления 0,001 г. (Предел измерения «Зондом» 0,01 – 1,0 Вт/(м°С))



Рисунок 15 – Термоиспытания измерителем теплопроводности ИТП-МГЦ-250

Таблица 8 – Результаты испытаний на теплопроводность, проведенные автором

	Образцы пенополиуретана		
	Образец промеж.	Образец из цент.части	Образец с края плиты
Размер образцов	98x101x100	100x101,6x102	99,3x100,81x96,8
Вес образцов, гр	53,4	51,51	53,98
Плотность, ρ кг/м ³	53,95	49,72	55,71
Уд.теплоемкость C , кДж/(кг°С)	1,47	1,47	1,47
Коэфф. Теплопров-ти, λ Вт/(м°С), измерен.камерой	0,022	0,0191	0,028
Температ.коэф. объемного расшир. ΔT	35-15	35-15	35-15
Тепловое сопротивление образца, R м.°С/Вт	1,136	1,041	2,1
Эталон Зонд, λ	0,024	0,0193	0,030

Результаты термоиспытаний измерителем теплопроводности ИТП-МГЦ-

250, подтверждают изменение коэффициента теплопроводности в образцах плиты, что произошло благодаря изменению плотности материала при вспенивании (минимальная плотность по центру и максимальная по краям).

О бионических способностях пенополиуретана писал в своих исследованиях руководитель НИОКР к.б.н. А.И. Поливода при разработке новой теплоизоляции «ТГИ Бион» [43]. Он предполагал проявление этих характеристик материала при напылении слоями: вначале ближе к внутренней поверхности материал большей плотности, далее менее плотный материал и завершается напыление более плотным материалом.

В нашем случае, можно выдвинуть предположение о способности пенополиуретана изменять свою плотность при вспенивании в пресформах ближе к поверхности, тем самым создавая более плотную структуру материала, что способствует увеличению несущей способности пенополиуретана.

Данная характеристика позволяет изготавливать пенополиуретановые плиты с малым коэффициентом теплопроводности, но достаточной жесткостью на внешней поверхности, которая увеличивается в результате уплотнения ячеек образующейся пены. При этом за счет возможности снижения плотности и уменьшения коэффициента теплопроводности, появляется возможность уменьшить толщину слоя теплоизоляции, что положительно скажется на массе и стоимости конструкции в целом, и не маловажно для кровельных материалов.

В связи с тесной взаимосвязью между плотностью пенополиуретана и его ценой, возможностью снижения плотности до определенного значения, при сохранении несущих способностей, были проведены экспериментальные исследования по определению оптимальной плотности пенополиуретана, влияющей на его термоустойчивость, энергоэффективность, несущую способность и эксплуатационную надежность, путем проверки средней прочности на сжатие при 10 % линейной деформации, образцов из пенополиуретана различной плотности. Эксперименты проводились в соответствии с ГОСТ [17].

Целью проведения экспериментальных исследований является определение оптимальной плотности материала пенополиуретана, влияющей на его термоустойчивость, энергоэффективность, несущую способность, и эксплуатационную надежность.

Методика проведения испытаний: для испытаний были использованы произведенные фирмой ООО «СтройИзоляция» (см. приложение) по заказу автора, пенополиуретановые плиты двух различных вариантов кажущейся плотности $38 - 42 \text{ кг/м}^3$ и $49 - 54 \text{ кг/м}^3$, из которых были вырезаны 10 образцов размером $100 \times 100 \times 100 \text{ мм}$ и 9 — размером $50 \times 50 \times 100 \text{ мм}$. Также для сравнения результатов испытаний были вырезаны 4 образца размером $100 \times 100 \times 100 \text{ мм}$ и 2 — размером $50 \times 50 \times 100 \text{ мм}$ из пенополистирола марки «Therm Knauf» с плотностью $\sim 20 - 25 \text{ кг/м}^3$. Замеры образцов производились штангенциркулем с точностью до $0,01 \text{ мм}$, по три замера на каждое ребро (длина, ширина, толщина), за результирующее было принято среднее значение. Образцы взвешивались с точностью до $0,5 \%$ и вычислялся их объем. Для взвешивания были использованы лабораторные электронные весы AG 200 с ценой деления $0,001 \text{ г}$.

Испытания проводились на разрывной двухколонной машине *Instron 5969* 50 кН , в автоматическом режиме при скорости нагружения 5 мм/мин (рисунок 16). Образцы помещались в машину так, чтобы сжимающее усилие проходило по центру, строго через вертикальную ось образца со скоростью воздействия усилий сжатия равной $0,1 \pm 0,002 \text{ Н/м}$, где H — толщина пенополиуретана. Затем определялось значение усилия, вызывающее 10% линейную деформацию образцов (рисунки 17 – 21).

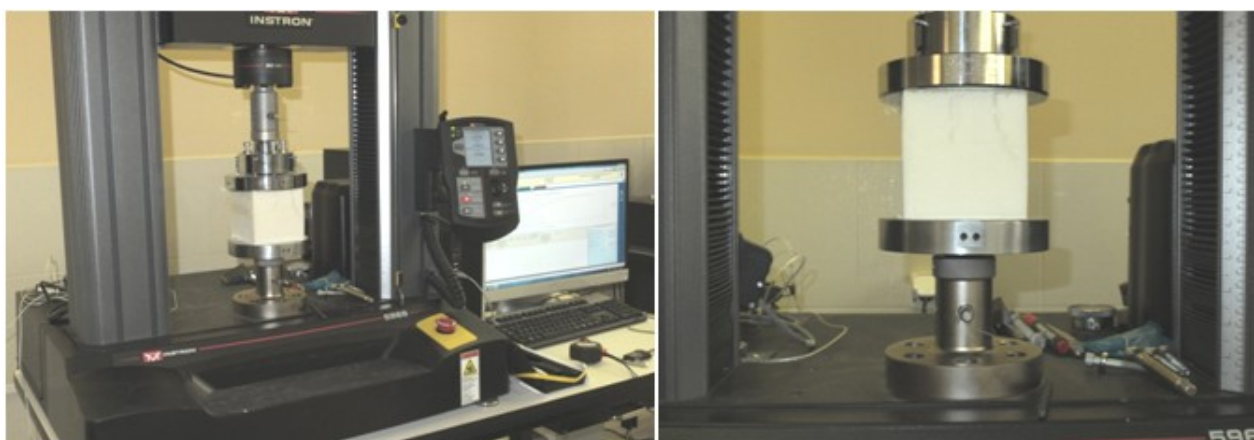


Рисунок 16 – Испытания на сжатие при 10% линейной деформации

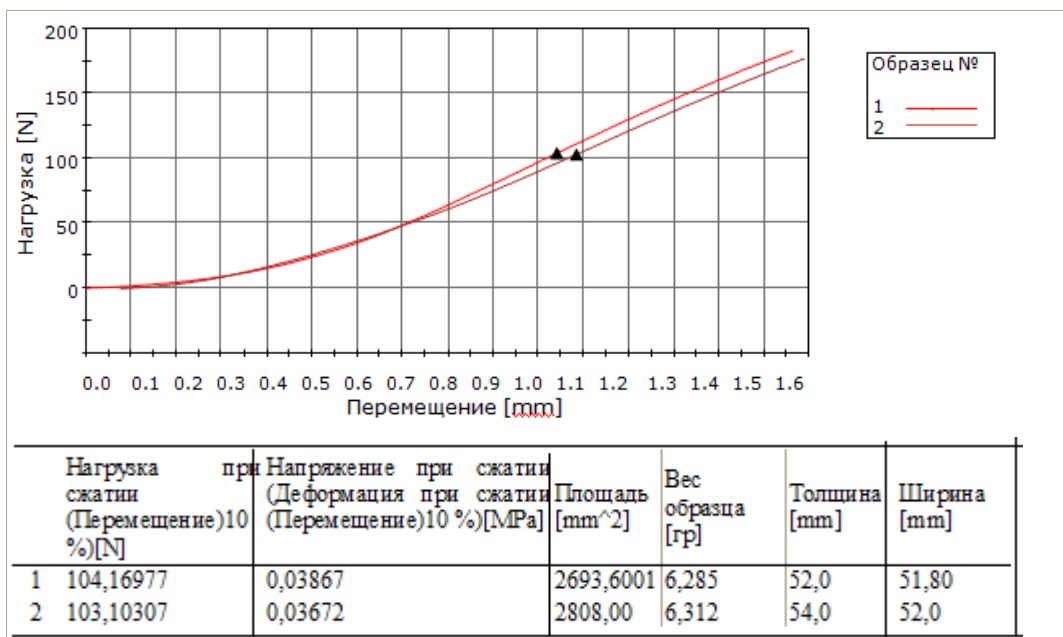


Рисунок 17 – Результаты испытаний на сжатие при 10 % деформации полистирольных образцов 100 x 50 x 50

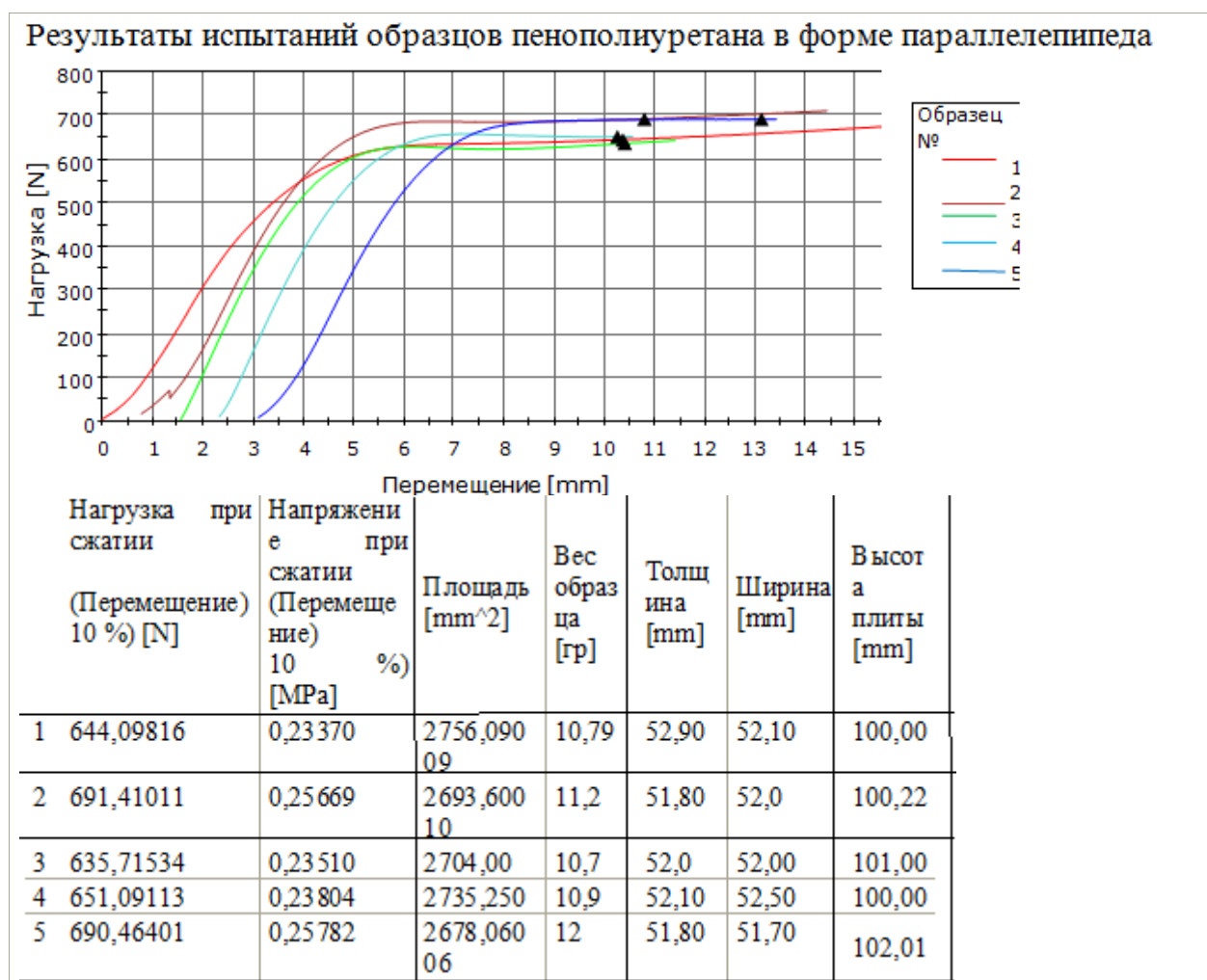
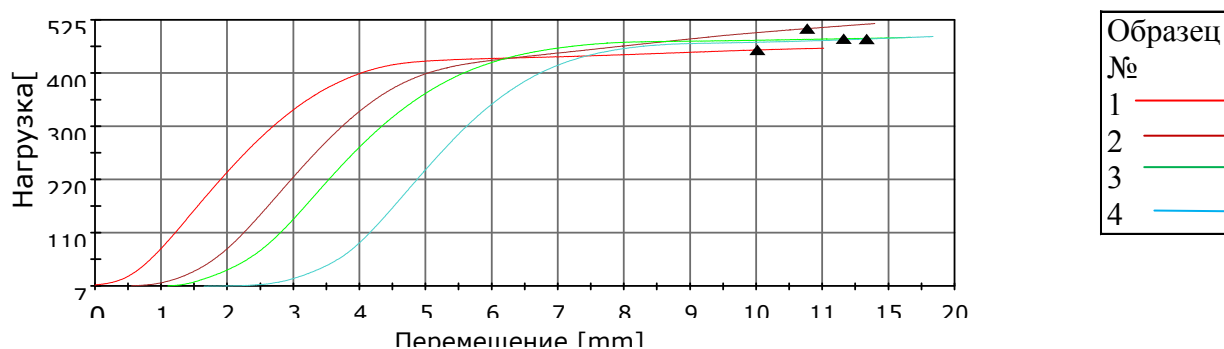


Рисунок 18 – Результаты испытаний на сжатие при 10 % деформации полиуретановых образцов

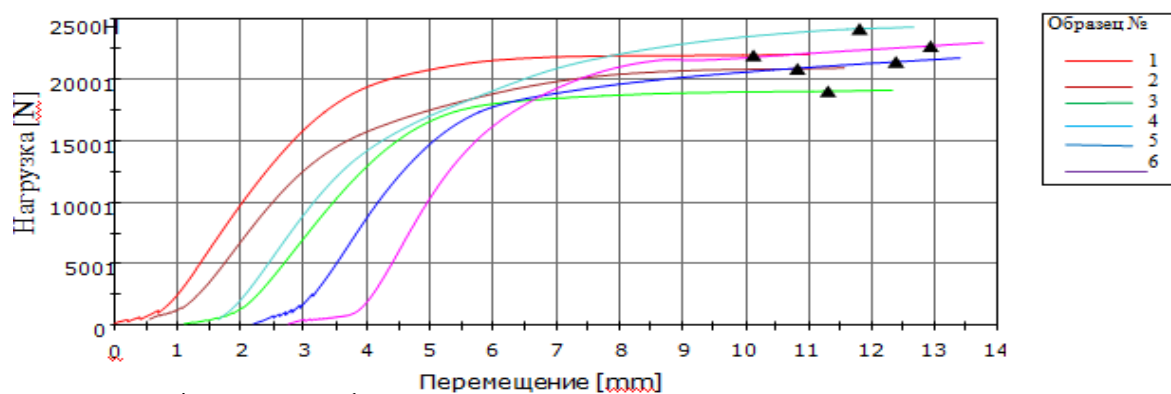
Испытание пенополиуретановых образцов в форме параллелепипеда



	Нагрузка при сжатии (Перемещение) 10 %) [N]	Напряжение при сжатии (Деформация) (Перемещение) 10 %) [MPa]	Площадь [mm ²]	Толщина [mm]	Ширина [mm]	Высота плиты [mm]	Вес образца [гр]
1	443,77873	0,17891	2480,42578	50,14	49,47	100,00	12,81
2	483,52349	0,19391	2493,50391	49,92	49,95	102,00	13,6
3	464,65169	0,18531	2507,48169	49,92	50,23	102,00	12,815
4	464,32201	0,18700	2483,00928	49,69	49,97	100,00	12,92

Рисунок 19 – Результаты испытаний на сжатие при 10 % деформации полиуретановых образцов

Результаты испытания пенополиуретановых образцов кубической формы



	Нагрузка при сжатии (Перемещение) 10 %) [N]	Напряжение при сжатии (Деформация) (Перемещение) 10 %) [MPa]	Площадь [mm ²]	Толщина [mm]	Ширина [mm]	Высота плиты [mm]	Вес образца [гр]
1	2200,32313	0,21525	9722,8404	98,93	98,28	94,09	53,47
2	2090,20498	0,20468	9811,728	98,65	99,46	93,66	53,4
3	1908,06238	0,18788	9559,9234	97,94	97,61	90,90	52,6
4	2414,74727	0,24090	9824,0688	98,28	99,96	94,40	53,5
5	2146,27056	0,21165	10140,48730	100,65	100,75	101,66	107,09
6	2275,20725	0,22155	10269,72266	101,07	101,61	101,66	107,42

Рисунок 20 – Результаты испытаний на сжатие при 10 % деформации полиуретановых образцов кубической формы

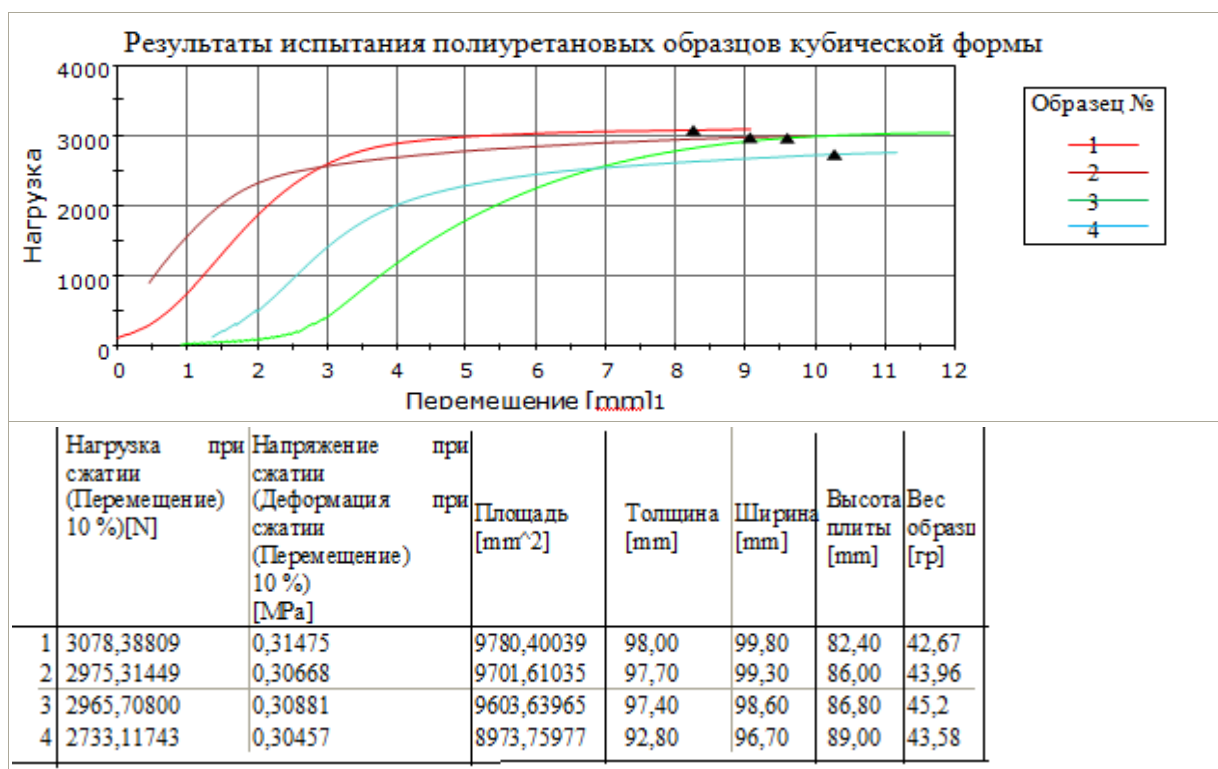


Рисунок 21 – Результаты испытаний на сжатие при 10 % деформации полиуретановых образцов кубической формы

Результаты испытаний на сжатие при 10 % -ной линейной деформации, показали, что прочность пенополиуретана в 4 – 6 раз выше, чем у образцов полистирола такой же формы. Из приведенных данных видно, что образцы из полистирола сразу подверглись пластическим деформациям, при сжатии напряжение составило всего 0,038 МПа, пенополиуретановых образцов – 0,17 – 0,26 МПа, что подтверждает различие структур этих материалов, достаточно слабых связях между отдельными зернами вспененного полистирола, в отличие от жесткой ячеистой структуры пенополиуретана, влияющих на прочность материалов.

Образцы из пенополиуретана с большей плотностью имеют меньшие показатели, по сравнению с образцами меньшей плотности, за счет того что на первом этапе (приблизительно до деформации 2 – 3 %) образцы меньшей плотности испытывают упругое сжатие.

Образцы кубической формы способны воспринимать большие напряжения, так как образцы в форме параллелепипеда испытывают не только сжимающие, но и изгибающие нагрузки (рисунки 17 – 21), а следовательно, снижается предел

прочности. Нагрузку в 3078,39 Н принимаем как предельную величину, при этом среднеарифметический результат испытания образцов составил 2478,734 Н. Сопоставление замеров размеров образцов до испытаний и после испытаний через сутки после эксперимента подтвердили способность пенополиуретана, как условно пластичного материала, восстанавливать свою форму.

Выявленные и подтвержденные в процессе экспериментальных исследований, такие важные свойства пенополиуретана, как способность уплотняться ближе к поверхности при вспенивании и при приложении нагрузки повышают несущую способность утеплителя из пенополиуретана и, как следствие, позволяют использовать материал с меньшей плотностью и более легкий, что существенно уменьшит массу конструкции кровли и снизит стоимость кровельного материала.

За показатель легкости материала, в данном случае, принимается отношение плотности материала образца, к его прочности R_y , позволяющей, сопротивляться воспринимаемой им нагрузке.

Таким образом, в качестве материала утеплителя, на основании проведенных экспериментальных и аналитических исследований, был выбран жесткий мелкоячеистый пенополиуретан с кажущейся плотностью 38 – 42 кг/м³, низкой гигроскопичностью, с подтвержденным коэффициентом теплопроводности $\lambda=0,022 - 0,024$ Вт/м²К, который относится к трудновоспламеняемым самозатухающим материалам (Г2), что подтверждает предоставленный сертификат производителя ППУ [Приложение 2], а на основе полученных результатов проведенного автором эксперимента, можно сделать вывод, что термическая устойчивость пенополиуретана значительно выше ранее заявленной +160 °С. При условии правильного изготовления и эксплуатации возможно повторное использование пенополиуретановых конструкций. Пенополиуретан обладает хорошей адгезией, экологически безопасен, при его производстве не используются фреоны, может применяться при устройстве кровель малоэтажных зданий [76], что подтверждает свод правил СП 17.13330.2011 «Кровли» и не ограничивает область применения пенополиуретана

при устройстве кровель.

2.2 Экспериментальные испытания пенополиуретановой панели на прочность

Для упрощения процесса монтажа, уменьшения сборочных единиц и их унификации, переносе части работ со строительной площадки в заводские условия, повышения энергосберегающих качеств кровли, сокращения стоимости и массы кровельного пирога, соблюдения условий надежности и долговечности кровельного покрытия, необходимо разработать конструкцию основного несущего элемента быстросборной кровли - «термопанели».

Так как, пенополиуретан считается не конструктивным материалом, автором было выдвинуто предположение, что благодаря хорошей адгезии пенополиуретана, возможно изготовление из него кровельных плит покрытия, которые для увеличения изгибной жесткости армируются внутренним каркасом.

Согласно требованиям [63], конструкция панели должна быть рассчитана по двум предельным состояниям: на потерю несущей способности в результате разрушения или потерю устойчивости и непригодность конструкции к нормальной эксплуатации из-за недопустимой величины максимального прогиба, который для плит покрытия составляет $f/l = 1/120$.

Для установления механических характеристик и несущей способности плит из пенополиуретана были запланированы и проведены, экспериментальные исследования.

Целью эксперимента является определение максимальной несущей способности плит из пенополиуретана, не допустив обрушения.

В процессе проведения эксперимента, на основании показаний Прогибомеров 6-ПАО, составляется таблица зависимости перемещений от прилагаемой нагрузки, сравниваются полученные результаты прогибов, в том числе и от результирующей расчетной нагрузки с максимально допустимой для плит покрытия и определяется необходимость усиления пенополиуретановой

плиты пространственным каркасом и верхнее -нижним покрытием из стеклоткани.

Для проведения экспериментальных исследований, на базе ООО «СтройИзоляция» были изготовлены три панели, размером 1200 x 600 x 100 мм из жесткого пенополиуретана с плотностью 50 – 54 кг/м³ без внешнего покрытия при наличии неровностей и раковин (рисунок 22). Размеры панели приняты в соответствии с действующими стандартами и нормами проектирования в строительстве и на основании стандартных размеров существующих утеплителей, для предотвращения возможного обрушения были армированы по краям снизу панели, двумя плоскими полосами из фанеры ФК березовой толщиной 10 мм и шириной 154 мм на всю длину панели.

Экспериментальные исследования проводились в соответствие с требованиями ГОСТа [18;19], не ранее чем, через 5 дней после заливки панелей, в данном эксперименте использовались панели через 10 дней после их заливки. Панели взвешивались, средний вес панелей, не имеющих покрытие составил 6,430 кг.



Рисунок 22 – Вид пенополиуретановой плиты без покрытия, с характерными образованиями раковин из-за отсутствия покрытия

Для проведения испытаний и предварительных расчетов на деформативность производился сбор нагрузок: постоянных - вес кровельной системы; временных – снеговая; кратковременных - ветровая на 1 м² ППУ плиты (таблица 9)

Таблица 9 – Нормативные и расчетные нагрузки

Вид нагрузки	Нормативная нагрузка	Коэффициент перегрузки γ	Расчетная нагрузка
<i>Постоянная нагрузка</i>			
Стальной лист 1 м ² ; толщина листа 0,8 мм	4x0,984= 3,936 кг/м ²	1,3	5,1168
Пенополиуретановая панели	6,43	1,6	10,288
ИТОГО	10,366		15,4048
Скорректированная нагрузка в зависимости от угла наклона кровли по формуле: $g = g^H \cdot \gamma \cdot \cos \alpha$ (3)			0,866x15,2768= 13,4055
Снеговая нагрузка СНиП 2.01.07-85 $S_g = s \cdot \mu \cdot \gamma_{\mu} \cdot \gamma_{\pi} \cdot \cos \alpha$ (4)	180 кг/м ²	1,6	249,408 кг/м ²
Ветровая нагрузка $W = W_H \cdot k \cdot \gamma_{\pi} \cdot c$ (5) $= 38(\text{кгс/м}^2) \cdot 0,96 \cdot 1,4 \cdot (-0,7)$, с - аэродинамический коэффициент. Для двускатных кровель с = -0,7 w_0 - нормативное значение ветрового давления; k - коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте	38 кг/м ²	1,4	37,44
Полная нагрузка на 1 м ² покрытия g_H	228,366 кг/м ²		$g^H = 300,188$ кг/м ²

Предел прочности конструкции зависит от соотношения общего давления вышеперечисленных нагрузок и измеряется в кг/м². В расчетах используются нормативные нагрузки. Для перевода действующих нормативных и расчетных нагрузок из единиц измерения кг/м² в кН расстояние между опорами условно принимается равным 1 м.

$$g = 228,286 \cdot 1 = 2,28 \text{ кН}; \quad g^H = 300,0777 \cdot 1 = 3,0 \text{ кН} \quad (6)$$

Испытания опытного образца проводились на ступенчатое нагружение – постепенно увеличивающейся, равномерно распределенной, кратковременной нагрузкой, в виде штампа- выдерживание нагрузки 20 минут и 20 минут на снятие нагрузки. Нагрузка увеличивалась ступенями величиной не более 0,2 кН. Для исследований использовали гидравлический пресс AEG 5000 кН с домкратом.

Прогибы панели измерялись в 6-х точках с помощью Прогибомера 6-ПАО, с ценой деления 10^{-2} мм. Для более точного снятия показаний испытания проводили в ручном режиме, для снятия показаний использовался динамометр электронный Мегавес ДАЦ - С - 100 - 2 с тензодатчиком установленным под верхней нагружающей платформой пресса и индикатор, фиксировавший показания пикового значения массы на дисплее индикатора.

Для проведения эксперимента, автором, на базе лаборатории СПбГАСУ,

была разработана конструктивная схема, позволяющая провести испытания, в условиях закрепления максимально соответствующих будущему рабочему положению панели. Панель закрепили узкими концами на конструктивные элементы имитирующие установку панелей на стропила и закрепили в местах предполагаемого крепления. Испытания проводились на ступенчатое нагружение – постепенно увеличивающейся, равномерно распределенной, кратковременной нагрузкой (рисунки 23 – 24).

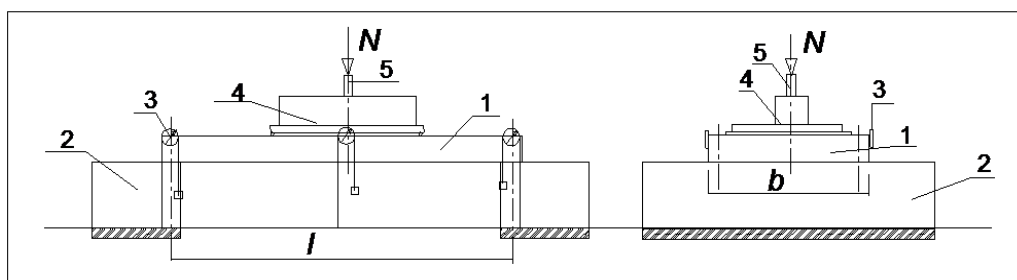


Рисунок 23 – Конструктивная схема установки и нагружения образца, расстановки фиксирующие перемещение приборов и прилагаемой в виде штампа распределенной нагрузки:

l – расчетная длина образца, b – ширина образца, 1 – пенополиуретановая панель, 2 – конструктивные тумбы, на которых была зафиксирована панель, 3 – Прогибомер ПАО-6 с противовесом, 4 – распределительная плита в виде штампа, для передачи прилагаемой нагрузки на панель, 5 – передающий элемент домкрата с установленным на верхней части тензодатчиком, для передачи и фиксации результатов прилагаемой нагрузки на индикатор.



Рисунок 24 – Испытания пенополиуретановой панели без покрытия стеклотканью с фиксацией максимальной нагрузки.

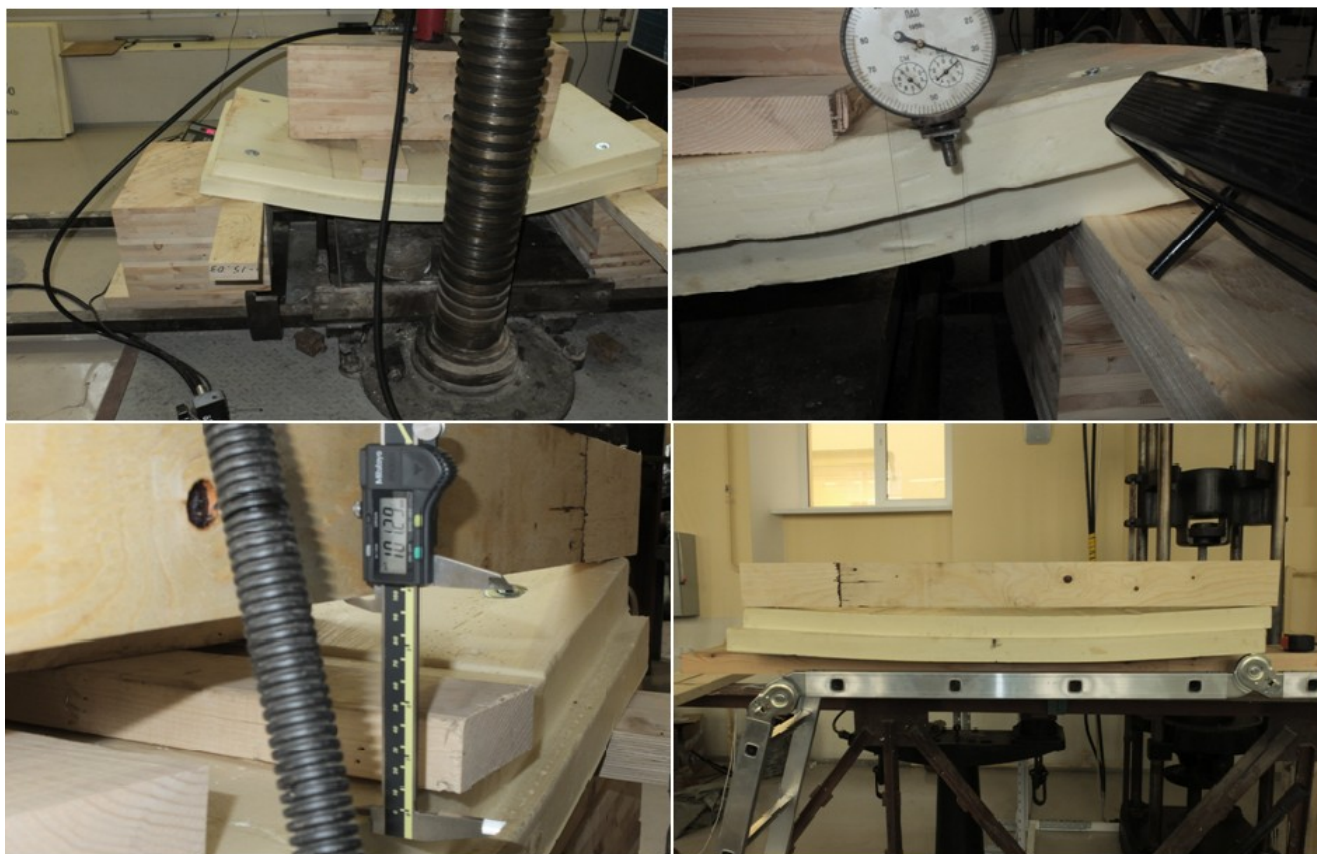


Рисунок 25 – Характерные изменения при испытаниях панелей без покрытия: максимальный прогиб, продавливание на опорах, остаточная деформация через сутки после снятия нагрузки

Результаты проведения испытаний представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Проведение натурных испытаний на выявление максимальной несущей способности панели из пенополиуретана с плоскими полосками фанерного каркаса

Разрешающая нагрузка кН	Показатели перемещений на прогибомерах-6-ПАО						
		Опора КПП	С1п	Опора КПЛ	Опора КЛП	С2л	Опора КЛЛ
показатели до нагружения	показания	0,37245	6,0108	7,5541	0,57590	9,81128	0,22087
	перемещение	0	0	0	0	0	0
2,5	показания	0,87381	7,35011	8,0402	1,17963	9,88098	0,71486
	перемещение	0,50136	1,33931	0,4861	0,60373	1,40684	0,49399
4,5	показания	1,06055	8,08476	8,2191	1,36042	0,54869	0,90497
	перемещение	0,18674	0,73465	0,1789	0,18079	0,67753	0,19011
0	показания	0,51369	7,12221	7,62985	0,75925	8,54111	0,33755
	перемещение	-0,54686	-0,96255	-0,58925	-0,60117	-0,89664	-0,56742
5,5	показания	1,21062	9,42212	8,38617	1,47792	1,82	1,04329
	перемещение	0,69693	2,29991	0,75632	0,71867	2,04599	0,70574
6,5	показания	1,31944	9,8998	8,50595	1,58867	1,2154	1,15305
	перемещение	0,10882	0,47768	0,11978	0,11075	0,50896	0,10976
0	показания	0,65369	7,1395	7,8741	0,9689	8,12557	0,50288
	перемещение	-0,66575	-2,7603	-0,63185	-0,61977	-2,6157	-0,65017
2,1	показания	1,11613	9,12536	8,36522	1,44552	0,23222	0,98355
	перемещение	0,46244	1,98586	0,49112	0,47662	2,07682	0,48067
3,8	показания	1,37928	0,90557	8,64563	1,74866	1,00329	1,295
	перемещение	0,26315	1,78021	0,28041	0,30314	1,65611	0,31145

Продолжение таблицы 10

Разрешающая нагрузка кН	Показатели перемещений на прогибомерах-6-ПАО						
		Опора КПП	С1п	Опора КПЛ	Опора КЛП	С2л	Опора КЛЛ
6,3	показания	1,6754	5,88241	8,91121	2,02852	2,07663	1,58312
	перемещение	0,29612	4,97684	0,26558	0,27986	5,07899	0,28812
8,3	показания	1,84095	6,74381	9,08778	2,1886	2,20563	1,77319
	перемещение	0,16555	10,8614	0,17657	0,16008	10,129	0,19007
9,1	показания	1,96647	0,96061	9,2074	2,30995	6,28283	1,90084
	перемещение	0,12552	14,2168	0,11962	0,12135	14,0772	0,12765
10,19	показания	2,09576	8,63411	9,34526	2,42981	3,28103	2,02373
	перемещение	0,12929	17,6735	0,13786	0,11986	16,9982	0,12289
0	показания	0,5053	3,46671	7,64337	0,81511	8,33251	0,34393
	перемещение	-1,59046	-5,1674	-1,70189	-1,6147	-4,94852	-1,6798
12,19 слом каркас.	показания	2,18188	3,37101	9,36451	2,51294	8,34931	2,19889
	перемещение	1,67658	19,9043	1,72114	1,69783	20,0168	1,85496
0	показания	0,77168	8,99249	7,85658	1,04151	2,77224	0,60201
	перемещение	-1,4102	-5,62148	-1,50793	-1,47143	-5,38835	-1,59688
	Остаточное перемещение	0,39923	2,98169	0,30248	0,46561	2,96096	0,38114
	Максимальное перемещение	1,80943	22,62331	1,81041	1,93704	22,46975	1,97802

Конструкция очень быстро набирала остаточные усталостные перемещения. При нагрузке 12,19 кН, эксперимент был остановлен из-за слома фанеры и опасности обрушения конструкции. Максимальное перемещение центральной части панели на 10-ом нагружении -разгружении составило 226,2 мм, что абсолютно не допустимо, при требуемом максимальном перемещении $[f/l] = 1/120 = 0,0083 \text{ м} = 8,3 \text{ мм}$ (рисунок 25, таблица 10)

Одна из панелей без покрытия была подвергнута климатическим испытаниям в течение нескольких месяцев: с февраля по май месяц 2014 года. Испытания подтвердили необходимость верхне - нижнего защитного покрытия пенополиуретановых панелей.

В результате экспериментальных исследований подтверждено, что пенополиуретан способен уплотняться при нагружении с хорошими изгибными данными, обладает свойством пластичности, но малой изгибной прочностью, сопротивляясь действию приложенных нагрузок, обладает хорошей адгезией, что позволит ввести в предлагаемую конструкцию внутреннего пространственного каркаса, работающего на сжимающие и растягивающие нагрузки, и верхнее нижнее покрытие пенополиуретана стеклотканью, для создания монолитности конструкции. Стеклоткань не горючий материал, с большим запасом прочности

на растяжение и сжатие с изгибом, в отличие от металлической поверхности не «настывает» и не накапливает усталостные напряжения.

В такой конструкции пенополиуретан может работать как условно конструктивный материал, почти не изменяя и восстанавливая свою форму после приложения и снятия нагрузки до определенного периода, чему не препятствует мембрана из стеклоткани, в отличие от сэндвич-панелей с металлическим покрытием.

2.3 Разработка «термопанели» как основного несущего элемента быстросборной кровли с пространственным каркасом из фанеры

Фанера практически не подвержена расширению и усадке, что делает ее стабильной, устойчива к расщеплению, растрескиванию и скручиванию. Взаимная ориентация слоев повышает механическую прочность и позволяет использовать материал в конструктивных элементах, где воспринимаемая сила занимает важное место.

Основное достоинство фанерного каркаса простота изготовления. Каркас позволяет устанавливать «термопанель» непосредственно на стропила, и за счет совместной работы с пенополиуретаном должен обеспечивать равномерное распределение возникающих нагрузок по всей площади «термопанели», что обуславливает ее использование в качестве основного несущего элемента кровельного покрытия.

Количество продольных и поперечных ребер каркаса зависит от ширины и длины панели [50]. В отличие от «сэндвич-панелей», в которых основные несущие функции выполняют стенки, «термопанель», условно, можно отнести к сотопластам. В сотопласте полосы обычно расположены в двух взаимно перпендикулярных направлениях, их соединяют друг с другом, вставляя в соответствующие прорези.

Размер «термопанели» в соответствии с действующими стандартами и нормами проектирования в строительстве и на основании стандартных размеров

существующих утеплителей принимаем 1200 х 600 х 100 мм. Согласно требований безопасности необходимо, чтобы шаг обрешетки был не более 0,25 – 0,30 м [69]. Для повышения изгибной жесткости конструкции «термопанели» и восприятия изгибающих усилий, проектируем внутренний пространственный каркас с заданным шагом продольных и поперечных ребер. Продольные ребра ставятся на расстоянии не более 25 см друг от друга. Поперечные ребра устанавливаются с шагом не более 26 см. Конструкция соединяется пенополиуретановым слоем, а для восприятия изгибающих и сжимающих усилий, внешний слой пенополиуретана дополнительно армируем стеклотканью, типа мембранной ткани «TEND» ООО «Парагон» [107]. Стеклоткань является негорючим материалом, с очень большим запасом прочности на растяжение, относительное удлинение при разрыве, и благодаря хорошей адгезии пенополиуретана, образуется монолитная конструкция «термопанели».

Из условия работы на изгиб верхней обшивки от сосредоточенных грузов. Для улучшения работы фанерного каркаса, исходя из зависимости моментов инерции и моментов сопротивления конструкций от формы сечения, для увеличения момента инерции сечения устанавливаем конструируемый внутренний фанерный каркас на ребро, из условия, что высота панели $h = 100$ мм, высота ребра каркаса 50 мм, длину определяем расчетом, в зависимости от длины панели, а толщину фанеры назначаем исходя из необходимых показателей момента инерции [69], данной высоты конструктивного элемента, при разработке «термопанелей» была принята фанера березовая марки ФСФ, толщиной 15 мм (рисунки 26, 27).

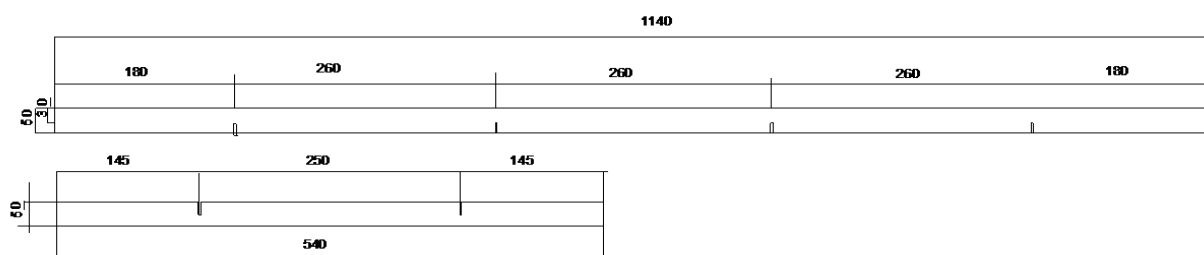


Рисунок 26 – Раскрой фанеры для каркаса в «термопанели» размером 1200 х 600 х 100 мм

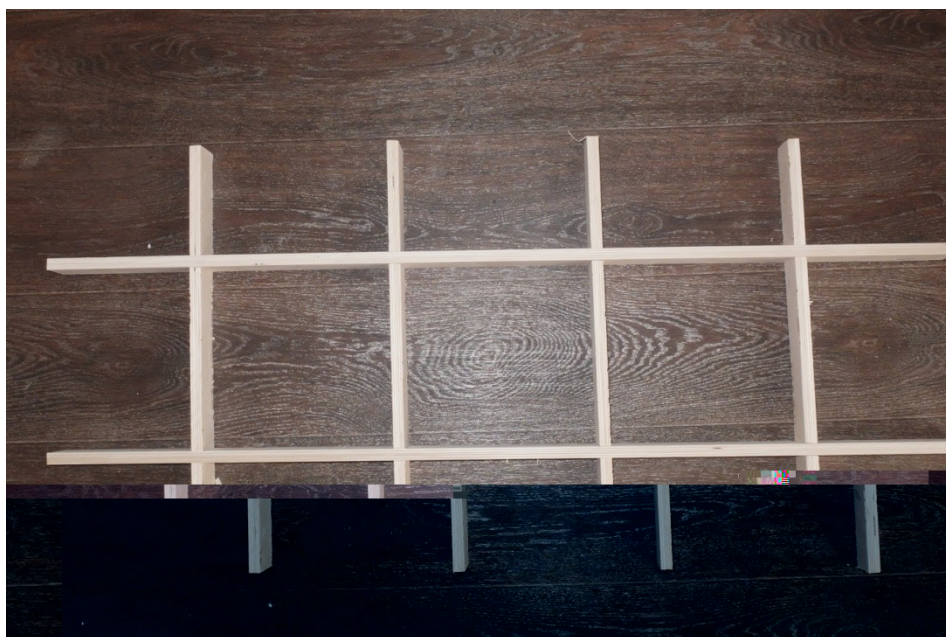


Рисунок 27 – Фото пространственного фанерного каркаса

С учетом ширины опорной площадки панели, которая должна быть ~ 5 см, установочные отверстия располагают на расстоянии не меньше 3,5 см от края боковой продольной поверхности панели и условием установки утеплителя на стропила. Плитами таких размеров можно перекрывать пролеты не более 1100 – 984 мм.

Для того чтобы конструкция работала под нагрузкой как единая монолитная часть, сдвигающие усилия в «термопанелях», должны восприниматься ребрами каркаса и соединяющим их пенополиуретановым слоем, а изгибающие и сжимающие усилия должен на себя принять внешний слой пенополиуретана и стеклоткань.

Расчет «термопанелей», производился как балки, нагруженной распределенной нагрузкой, при максимально неблагоприятных условиях [63; 69].

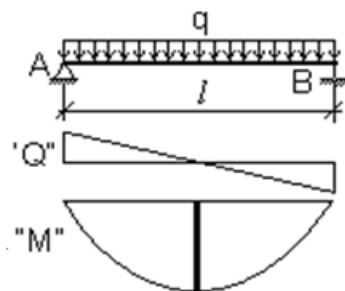


Рисунок 28 – Эпюры сил и моментов от распределенной нагрузки

Максимальный момент находится в центре пролета (рисунок 28) .

На основании данных таблицы 9, реакция опор от воздействия нормативной нагрузки:

$$Q=2,28/2= 1,14 \text{ кН} \quad (7)$$

Реакция опор от воздействия расчетной нагрузки:

$$Q_2=(259,276/2) \cdot 10^{-2}= 1,48 \text{ кН} \quad (8)$$

Расстояние между балками принимаем равным 1 м, при этом максимальный изгибающий момент равен:

$$M_{maxp}=(ql^2)/8=(2,28 \cdot l^2)/8= 1,104 \text{ кНм} \quad (9)$$

$$l^2= 1 \text{ м}$$

Монтажная нагрузка от рабочего с грузом рассматривается как сосредоточенная сила $P= 120 \text{ кг}=1,2 \text{ кН}$ вместе с максимальным изгибающим моментом от постоянной нагрузки. Максимальный момент от сосредоточенной силы на расстоянии $x=0,432l$ от опоры.

$$M_{maxm} = 0,07 \cdot g \cdot l^2 + 0,21P \cdot l = \quad (10)$$

$$0,07 \cdot 3 \cdot l^2 + 0,21 \cdot 1,2 \cdot l = 0,21 + 0,248 = 0,458 \text{ кНм}$$

Определим прочность и устойчивость при действии нормативной нагрузки [69]:

$$G_p = (M_p) / (W_z \cdot \varphi_\Phi) \leq R_{\Phi c} = 7,835 \text{ МПа} \leq R_{\Phi c} = 12 \text{ МПа}$$

$$\varphi_\Phi = 140 \frac{b^2}{l_{ph\Phi}} k_\Phi = 0,640 \quad (12)$$

— где φ_Φ коэффициент продольного изгиба в плоскости перпендикулярно плоскости изгиба, $R_{\Phi c}$ - расчетное сопротивление фанеры.

Рассчитаем момент инерции для данного прямоугольного сечения [69]:

$$I_z = \frac{bh^3}{12} - \frac{3 \cdot 5^3}{12} = 31,25 \text{ см}^4 \quad (13)$$

$$I_y = \frac{hb^3}{12} = 11,25 \text{ см}^4 \quad (14)$$

Момент сопротивления для данного прямоугольного сечения.

$$W_z = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{3 \cdot 5^2}{6} = 12,5 \text{ см}^3 = 0,0000125 \text{ м}^3 \quad (15)$$

$$W_y = \frac{h \cdot b^2}{6} = 7,5 \text{ см}^3 \quad (16)$$

Максимальный прогиб от расчетной нагрузки будет в середине панели [69]:

$$f_0 = \frac{g^H l^4}{E_\phi J_{\text{пр}}} = (300,077 \cdot 1^4) / (7500 \cdot 1,406) = (300,077 \cdot 1) / 10545 = \quad (17)$$

$$0,0267 \text{ м} = 26,7 \text{ мм} > 8,2 \text{ мм}$$

$$l^4 = 1 \text{ м}$$

где f_0 – прогиб панели постоянного сечения высотой h без учета деформаций сдвига; h – наибольшая высота сечения; l – пролет панели; E – модуль упругости фанеры; J – момент инерции поперечного сечения элемента относительно нейтральной оси; для балок постоянного сечения – $k=1$; $c=19,2$.

В данном случае, будем определять расчетный прогиб f как сумму расчетных прогибов от постоянной f_1 и временной нагрузок f_{02} .

Относительный прогиб панели от нормативной нагрузки [69]:

$$\frac{f}{l} = \frac{k P_H l^3}{0,7 E_\phi J_{\text{пр}}} \leq \left[\frac{f}{l} \right] = f_1 = (5/384 \cdot 228,286 \cdot 1) / (0,7 \cdot 7500 \cdot 1,406 \cdot 10^{-4}) = 3,216/7381,5 \cdot 10^{-4} = 0,0435 \text{ м} > 0,0082 \text{ м} \quad (18)$$

$$\text{где модуль упругости фанеры: } E_\phi = (9000 + 6000) / 2 = 7500 \text{ МПа}, \quad (19)$$

$l^3 = 1 \text{ м}$ – пролет панели, $0,7$ – коэффициент ослабления от нормативной несущей способности сечения фанеры ослабленного врубками на основании исследований Линькова И.М [14].

Для равномерно распределенной нагрузки $k = 5/384$,

$$P_H = g^H l = 3,001 \cdot 1 = 3 \text{ кН} \quad (20)$$

Прогиб от кратковременной нагрузки [22]:

$$f_{02} = (5/384 \cdot 120 \cdot 1) / (0,7 \cdot 7500 \cdot 1,406 \cdot 10^{-4}) = 1,464/7381,5 \cdot 10^{-4} = 0,0198 \text{ м} > 0,0082 \text{ м} \quad (21)$$

Итого, максимальный расчетный прогиб, который мы будем учитывать при экспериментальных испытаниях:

$$f = f_1 + f_{02} = 0,0435 + 0,0198 = 0,0633 \text{ м} > 0,0082 \text{ м} \quad (22)$$

Расчет производился без учета влияния пенополиуретанового слоя и обшивок из мембраны на основе стекловолокна «TEND», и показал недостаточность сечения фанерного каркаса, и возможность возникновения риска

потери устойчивости конструкции, и непригодности в эксплуатации.

Так как высота фанерного каркаса не может быть увеличена, найдем минимально необходимую ширину сечения.

Определим требуемый момент сопротивления при данном максимальном изгибающем моменте на основании СП 64.13330.2011 [78]:

$$W_{\text{треб}} = \gamma_{н/о} \cdot M_{\text{max}} / R = 1,05 \cdot 1104 / 74,65 = 15,53 \text{ см}^3, \quad (23)$$

где $M_{\text{max}} = 1,104 \text{ кНм}$, $\gamma_{н/о} = 1,05$ - коэффициент учитывающий класс ответственности здания (предполагаемый класс ответственности здания I), R - расчетное сопротивление фанеры: $R_{ф.с}$ умножим на коэффициенты условий работы [69, 78].

$$R = R_{ф.с} \cdot m_n \cdot m_d \cdot m_b \cdot \gamma_{cc} \cdot m_{\phi} \cdot m_a = 120 \cdot 1,2 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 0,9 \cdot 0,6 = 74,65 \text{ кг/см}^2 \quad (24)$$

$R_{ф.с} = 12 \text{ МПа}$ – расчетное сопротивление фанеры сжатию вдоль волокон наружного шпона;

$m_n = 1,2$ – коэффициент для поправок на монтажную, ветровую нагрузку.

$m_d = 0,8$ – коэффициент, вводится когда постоянные и временные длительные нагрузки превышают 80 % суммарного напряжения от всех нагрузок.

$m_b = 1,2$ – коэффициент условий работы,

$\gamma_{cc} = 1$ – коэффициент зависит от срока эксплуатации конструкции.

$m_{\phi} = 0,6$ – коэффициент, учитывающий снижение расчетного сопротивления фанеры в месте расположения стыков листов;

В случае глубокой пропитки древесины антипиренами к этим коэффициентам добавится еще один: $m_a = 0,9$.

Определим минимальное сечение фанерного каркаса:

С учетом фиксированной высоты сечения в 5 см, необходимая ширина сечения на основании формулы момента сопротивления, будет равна:

$$b = (6 W_{\text{треб}} / h^2) = (6 \cdot 15,53 / 25) = 3,727 \text{ см}. \quad (25)$$

Из условия необходимых параметров жесткости и, что сечение состоит из двух продольных ребер, требуется фанера с толщиной 18,6 мм, по существующему сортаменту фанера имеет толщину: 4, 6, 9, 12, 15, 18, 21 мм. Но сечение фанерного каркаса в 21 мм достаточно велико, получаемый каркас будет

сложен в изготовлении и значительно повлияет на стоимость конечного элемента, и не может удовлетворять наших требований.

Расчет производился без учета влияния пенополиуретанового слоя и обшивок из мембраны на основе стекловолокна «TEND».

При построении графиков перемещения от расчетной нагрузки, производился расчет по способу профессора Гринь И.М. [22], в котором увеличение несущей способности фанерного каркаса учитывается благодаря работе среднего слоя из пенополиуретана и обшивок из стеклохолста.

2.4 Экспериментальные исследования несущей способности «термопанели» в напряженно-деформированном состоянии и вывод о зависимости нарастания перемещения фанерного каркаса от нагрузки при совместной работе пенополиуретана и фанерного каркаса

Экспериментальные исследования проводились по определению прочности и несущей способности панелей, целью которых является выявление закономерностей деформационных изменений от состава материала; варьирования прилагаемой нагрузки при прямом изгибе; величины максимальной нагрузки при образовании максимального прогиба.

Цель испытаний: определение сопротивления «термопанели» начальным пластическим деформациям, при длительной статической распределенной нагрузке и ступенчатом нагружении, выявление прочности и несущей способности «термопанелей», закономерностей деформационных изменений при прямом изгибе, величина максимальной нагрузки при образовании максимального прогиба и возможные исследования схемы остаточной деформации образцов после проведения испытаний.

На основании показаний Прогибомеров 6-ПАО, во время проведения экспериментов, составлялись таблицы зависимости перемещений от прилагаемой нагрузки и среднестатистические показатели изменения перемещений от динамических и статических нагрузок, затем сравнивались полученные

результаты с расчетными с целью выявления максимальной несущей способности «термопанелей».

Для проведения экспериментальных исследований, была изготовлена фирмой ООО «СтройИзоляция» (см. прил.) партия пенополиуретановых панелей размером 1200 х 600 х 100 мм, с внутренним пространственным каркасом и верхнее нижним покрытием мембранной стеклотканью «TEND».. В качестве среднего слоя панелей был использован жесткий пенополиуретан с кажущейся плотностью $38 - 42 \text{ кг/м}^3$, пространственный каркас из фанеры толщиной $\delta=15$ мм, и покрытие из негорючей мембраной ткани «TEND» ооо «Парагон» (группа горючести НГ, класс пожарной опасности КМ 0) на основе стеклохолста, используемой как защитный слой эксплуатируемой кровли, с высокой разрывной нагрузкой при растяжении не менее 420 Н/кгс [54; 50].

Наличие покрытия оказывает положительное влияние на качество верхних плоскостей (отсутствие раковин и пустотных выемок), а наличие пространственного каркаса, позволяет использовать пенополиуретан меньшей плотности, что позволило уменьшить вес панели до 6,35 кг, включая вес фанерного каркаса и стеклоткани, что меньше веса панелей без каркаса на 0,08 кг.

Плиты изготавливались в пресс-форме. На дно пресс-формы, с выступами для формирования установочных отверстий, укладывалось покрытие «TEND», устанавливался пространственный фанерный каркас из сетки пересекающихся продольных и поперечных ребер, заливалась вспениваемая смесь. Перед окончанием вспенивания и с началом твердения, приоткрывалась крышка пресс-формы, и притапливалось покрытие из ткани «TEND» [50].

Эксперимент проводился в соответствии с требованиями ГОСТа [18; 19]. Испытывались «термопанели» на длительную статическую нагрузку и ступенчатое нагружение – постепенно увеличивающейся, равномерно распределенной и кратковременной нагрузкой. В виде штампа - выдерживание нагрузки в течение 20 мин. и на снятие нагрузки – 20 мин. Нагрузка увеличивалась ступенями величиной не более 0,2 кН. Для испытаний использовался гидравлический пресс «AEG 5000 кН».

При проведении механических испытаний образцы устанавливались короткими сторонами на две опоры и закреплялись.

Прогибы панели измерялись в 6 точках с помощью «Прогибомера 6-ПАО», с ценой деления 10^{-2} мм. Для более точного снятия показаний испытания проводили в ручном режиме. Использовался динамометр электронный «Мегавес ДАЦ-С-100-2» с тензодатчиком, установленный под верхней нагружающей платформой пресса и индикатор, фиксирующий показания пикового значения массы на его дисплее.

Перед проведением испытаний на ступенчатое нагружение равномерно распределенной нагрузкой, было проведено испытание на нагружение панелей условным монтажным грузом $P = 1,2$ кН (средний вес человека). Нагружение проводилось в центре панели, диаметр грузовой площади составил 200 мм, максимальный прогиб составил менее 4 мм.

Результаты экспериментов представлены в таблицах 11 – 13 и на рисунках 29 – 38. Эксперименты на ступенчатое нагружение пенополиуретановых панелей с покрытием и пространственным каркасом постепенно увеличивающейся равномерно распределенной кратковременной нагрузкой представлены в таблицах 11, 12.

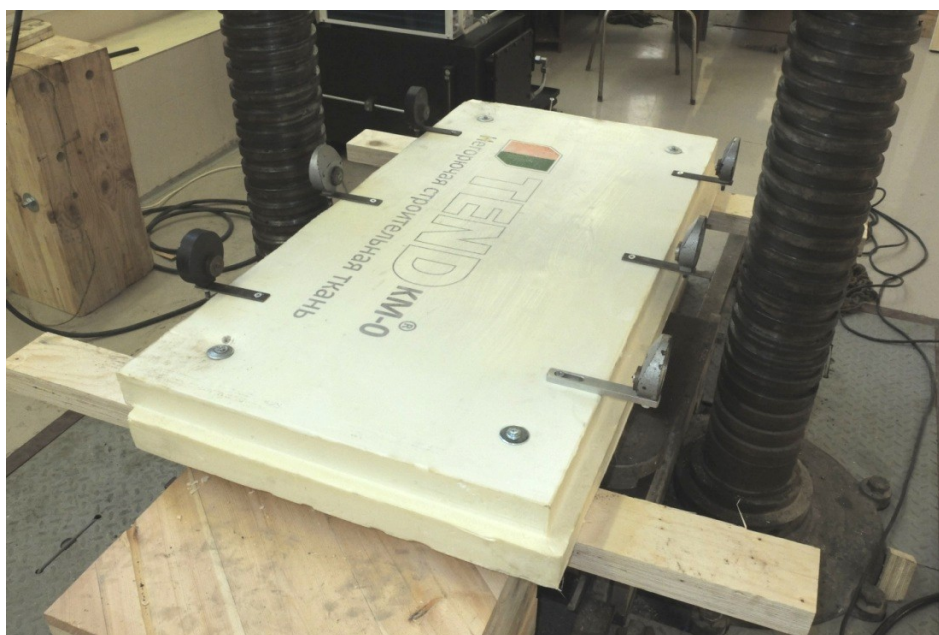


Рисунок 29 – Установка «термопанели» для проведения испытаний



Рисунок 30 – Максимальный зафиксированный прогиб

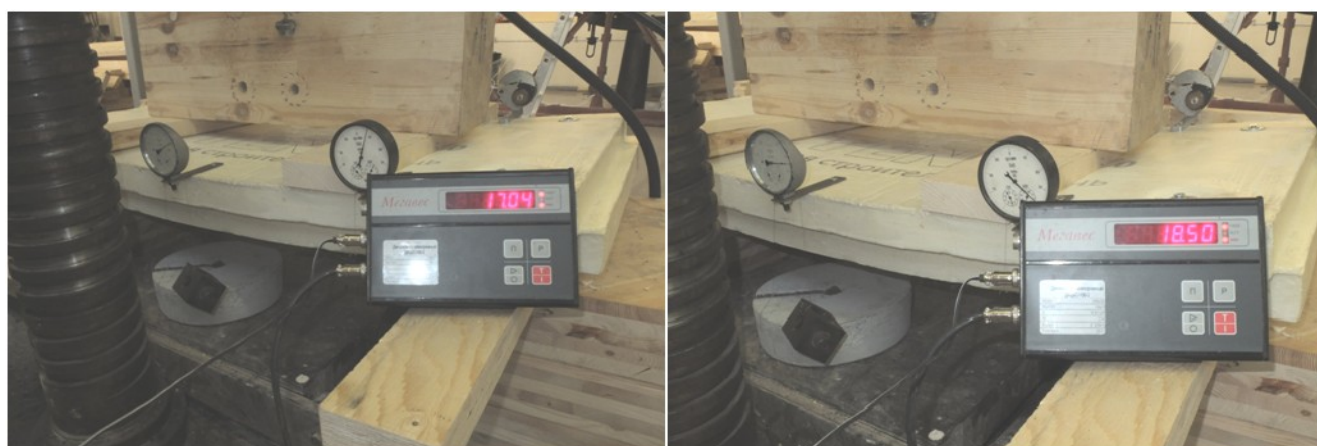


Рисунок 31 – Максимальные зафиксированные нагрузки

Таблица 11 – Результаты натурных испытаний на выявление максимальной несущей способности и максимального прогиба «термопанели» №1

Разрешающая нагрузка кН	Показатели перемещений на прогибомерах-6-ПАО						
		Опора КПП	С1п	Опора КПЛ	Опора КЛП	С2л	Опора КЛЛ
Показатели до нагружения	показания	1,65897	1,97973	8,94546	0,61898	9,9090	0,54224
	перемещение	0	0	0	0	0	0
4,2	показания	1,7104	2,0548	9,03758	0,75702	0,00709	0,64105
	перемещение	0,05143	0,07507	0,09212	0,13804	0,09809	0,09881
0	показания	1,67563	1,97413	8,95653	0,68386	0,01841	0,56115
	перемещение	-0,03477	-0,08067	-0,08105	-0,07316	-0,07968	-0,0799
6,4	показания	1,83561	2,60786	9,0786	0,80355	0,70901	0,72840
	перемещение	0,15998	0,63373	0,12207	0,11969	0,6906	0,16725
0	показания	1,67890	1,89716	8,99629	0,69436	0,03224	0,6287
	перемещение	-0,15671	-0,7107	-0,08231	-0,10919	-0,67677	-0,0997
6,8	показания	1,94353	2,59223	9,17878	0,90536	0,70198	0,89214
	перемещение	0,26463	0,69507	0,18249	0,211	0,66974	0,26344
0	показания	1,67228	2,22187	8,95173	0,74097	0,24235	0,70545
	перемещение	-0,27125	-0,37036	-0,22705	-0,16439	-0,45963	-0,18669
11,3	показания	2,40086	3,16754	9,83085	1,48545	1,12225	1,64665
	перемещение	0,72858	0,94567	0,87912	0,74448	0,8799	0,9412
12,8	показания	2,9885	3,61968	0,25748	1,88550	1,65342	1,98939
	перемещение	0,58764	0,45214	0,42663	0,44005	0,53117	0,34274

Продолжение таблицы 11

Разрешающая нагрузка кН	Показатели перемещений на прогибомерах-6-ПАО						
		Опора КПП	С1п	Опора КПЛ	Опора КЛП	С2л	Опора КЛЛ
0	показания	1,97890	2,14648	8,99627	0,9448	0,12771	0,91990
	перемещение	-1,0096	-1,4732	-1,26121	-0,9407	-1,52571	-1,06949
15	показания	3,22337	3,32328	0,38857	2,38093	1,33787	2,3327
	перемещение	1,24447	1,1768	1,3923	1,43613	1,21016	1,4128
17,4	показания	3,86387	4,03415	0,92867	2,82539	2,03218	2,9411
	перемещение	0,6405	0,71087	0,5401	0,44446	0,69431	0,6084
18,5	показания	4,29344	4,68098	1,41860	3,24548	2,77305	3,44542
	перемещение	0,42957	0,64683	0,48993	0,42009	0,74087	0,50432
0	показания	2,10246	2,29338	9,21055	1,27530	0,36550	1,3975
	перемещение	-2,19098	-2,3876	-2,1131	-1,97018	-2,40755	-2,04792
16,6	показания	4,06353	5,29106	0,97904	3,03430	3,4612	3,23872
	перемещение	1,96107	2,99768	1,76849	1,759	3,0957	1,84122
0	показания	2,18568	2,31209	8,97325	1,03435	0,37420	1,35553
	перемещение	-1,87785	-2,97897	-2,00579	-1,99995	-3,087	-1,88319
16,7	показания	4,7682	5,45530	1,88109	3,93085	4,10971	4,04125
	перемещение	2,58252	3,14321	2,90784	2,8965	3,73551	2,68572
0	показания	2,5912	1,65537	9,36150	0,98085	0,34535	1,86882
	перемещение	-2,1770	-3,79993	-2,51959	-2,95	-3,76436	-2,17243
16,3	показания	4,87012	5,69095	1,92213	3,50550	4,28231	4,15665
	перемещение	2,27892	4,03558	2,56063	2,52465	3,93696	2,28783
0	показания	2,78882	1,88205	9,24208	0,99855	0,42655	1,86765
	перемещение	-2,0813	-3,8089	-2,68005	-2,50695	3,85576	-2,289
15,7	показания	5,28568	4,7862	1,99826	3,86784	3,45118	4,23096
	перемещение	2,49687	2,90415	2,75618	2,86929	3,02463	2,36331
0	показания	3,58556	1,0909	9,9813	1,66552	9,8011	2,30955
	перемещение	-1,70013	-3,6953	-2,01696	-2,20232	-3,65008	-1,92141
15,5	показания	5,47893	5,12748	1,94216	3,46421	3,81638	4,2606
	перемещение	1,89337	4,03658	1,96086	1,79869	3,91528	1,95105
0	показания	3,60551	1,4375	9,98985	1,57652	9,9709	2,6107
	перемещение	-1,87342	-3,68998	-1,95231	-1,88769	-3,84548	-1,6499
13,8	показания	5,2897	4,87211	1,81625	3,50551	2,86680	4,1055
	перемещение	1,6842	3,43461	1,8264	1,92899	2,8959	1,4948
13,5	показания	5,08019	4,5353	1,58562	3,30894	2,42325	4,0918
	перемещение	-0,20952	-0,33681	-0,24078	-0,19657	-0,44355	-0,0137
0	показания	3,48651	2,0509	9,74922	1,74045	0,01135	1,9886
	перемещение	-1,59368	-2,4844	-1,8364	-1,56849	-2,4346	-2,1032
13	показания	5,16238	4,76558	1,61534	3,59088	2,66013	4,16663
	перемещение	1,67587	2,71468	1,86612	1,85043	2,64878	2,17803
0	показания	2,35556	2,9866	9,92075	1,76441	1,0884	1,98175
	перемещение	-2,80682	-1,77898	-1,69459	-1,82647	-1,57173	-2,18488
	Остаточное перемещение	0,69659	1,00687	0,97529	1,14543	0,9974	1,43951
	Максимальное перемещение	3,81996	3,71122	3,0528	3,31187	4,37331	3,71836



Рисунок 32 – Диаграмма зависимости перемещений центральной части «термопанели» №1 при циклических механических испытаниях от количества проведенных нагружений

Проведено 25 циклов испытаний 2-й панели с покрытием и пространственным каркасом, шаг нагружение – разгружение (таблица 12).

Таблица 12 – Результаты испытаний

Разрешающая нагрузка кН	Показатели перемещений на прогибомерах-6-ПАО						
		Опора КПП	C1п	Опора КПЛ	Опора КЛП	C2л	Опора КЛЛ
Показатели до нагружения	показания	6,006543	0,1096	5,51544	1,86524	6,0967	0,15172
	перемещение	0	0	0	0	0	0
4,93	показания	6,03196	0,1463	5,53423	1,88962	6,1352	0,17151
	перемещение	0,02542	0,0367	0,01879	0,02438	0,0385	0,01979
0	показания	5,9079	0,0803	5,52033	1,8756	6,0613	0,15901
	перемещение	-0,0124	-0,066	-0,0139	-0,01402	-0,0739	-0,0125
5,58	показания	5,95029	0,1763	5,64113	1,9865	6,1478	0,19141
	перемещение	0,04239	0,0960	0,0308	0,0409	0,0865	0,0324
0	показания	5,9084	0,0901	5,59853	1,9519	6,0552	0,15531
	перемещение	-0,04189	-0,0862	-0,0426	-0,0346	-0,0926	-0,0361
6,0	показания	5,98996	0,2298	5,67403	2,0351	6,1847	0,23051
	перемещение	0,08156	0,1397	0,0755	0,0832	0,1295	0,0752
0	показания	5,9057	0,11	5,61423	1,9586	6,0768	0,16076
	перемещение	-0,08426	-0,1198	-0,0598	-0,0765	-0,1079	-0,06975
6,7	показания	6,04561	0,3467	5,75983	2,0984	6,2936	0,29926
	перемещение	0,13991	0,2367	0,1456	0,1398	0,2168	0,1385

Продолжение таблицы 12

Разрешающая нагрузка кН	Показатели перемещений на прогибомерах-6-ПАО						
		Опора КПП	С1п	Опора КПЛ	Опора КЛП	С2л	Опора КЛЛ
7,6	показания	6,06429	0,37138	5,76174	2,10024	6,33068	0,30121
	перемещение	0,001868	0,02468	0,001908	0,00184	0,03708	0,00195
0	показания	5,8637	0,08228	5,56014	1,89594	6,06378	0,10231
	перемещение	-0,20059	-0,2891	-0,2016	-0,2043	-0,2669	-0,1989
8,1	показания	6,09568	1,14198	5,78764	2,12684	7,15028	0,33281
	перемещение	0,23198	1,0597	0,2275	0,2309	1,0865	0,2305
9,0	показания	6,1013	1,24778	5,79214	2,13234	7,25878	0,41881
	перемещение	0,00562	0,1058	0,0045	0,0055	0,1085	0,086
10,0	показания	6,10313	1,51678	5,79405	2,13429	7,53178	0,42066
	перемещение	0,00183	0,269	0,00191	0,00195	0,2730	0,00185
0	показания	5,76737	0,15828	5,55856	1,87868	6,11869	0,17006
	перемещение	-0,33576	-1,3585	-0,23549	-0,25561	-1,41309	-0,2506
7,1	показания	6,09937	1,42968	5,8089	2,18688	7,32864	0,45856
	перемещение	0,332	1,2714	0,2533	0,3082	1,20995	0,2885
10,6	показания	6,10771	1,76668	5,8279	2,87649	7,63664	0,47746
	перемещение	0,00834	0,337	0,019	0,06896	0,3080	0,0189
0	показания	5,67181	0,58588	5,426	2,47969	6,38004	0,08846
	перемещение	-0,4359	-1,1808	-0,4019	-0,3968	-1,2566	-0,389
8	показания	6,10591	1,92638	5,893	2,68131	7,78374	0,52446
	перемещение	0,4341	1,3405	0,467	0,20162	1,4037	0,436
10,65	показания	6,12167	2,03088	5,91476	2,70299	7,88694	0,54746
	перемещение	0,01576	0,1045	0,02176	0,02168	0,1032	0,023
13,36	показания	6,22179	2,64598	6,03499	2,8038	8,49154	0,64896
	перемещение	0,10012	0,6151	0,12023	0,10081	0,6046	0,1015
15	показания	6,43313	3,47538	6,34551	3,0401	9,23604	0,89816
	перемещение	0,21134	0,8294	0,31052	0,2363	0,7445	0,2492
16	показания	6,65736	3,74588	6,55941	3,21984	9,57094	1,11386
	перемещение	0,22423	0,2705	0,2139	0,17974	0,3349	0,2157
14	показания	6,44722	3,60608	6,3191	2,91824	9,42964	0,89496
	перемещение	-0,21014	-0,1398	-0,2403	-0,3016	-0,1413	-0,2189
0	показания	5,88077	0,74438	5,6216	1,93764	6,60334	0,32406
	перемещение	-0,56645	-2,8617	-0,6975	-0,9806	-2,8263	-0,5709
15,8	показания	6,67978	3,56708	6,2283	2,79818	9,50038	1,07166
	перемещение	0,79901	2,8227	0,6067	0,86054	2,89704	0,7476
0	показания	6,07631	1,24368	5,6197	1,90802	7,21901	0,27296
	перемещение	-0,60347	-2,3234	-0,6086	-0,89016	-2,28137	-0,7987
0	Остаточное перемещение	0,066557	1,13408	0,10426	0,04278	1,12231	0,12124
	Максимальное перемещение	0,673237	3,49648	0,71286	0,93294	3,47704	0,96214

Испытания от равномерно распределенной ступенчатой нагрузки представлены в виде диаграмм (рисунки 32– 34).

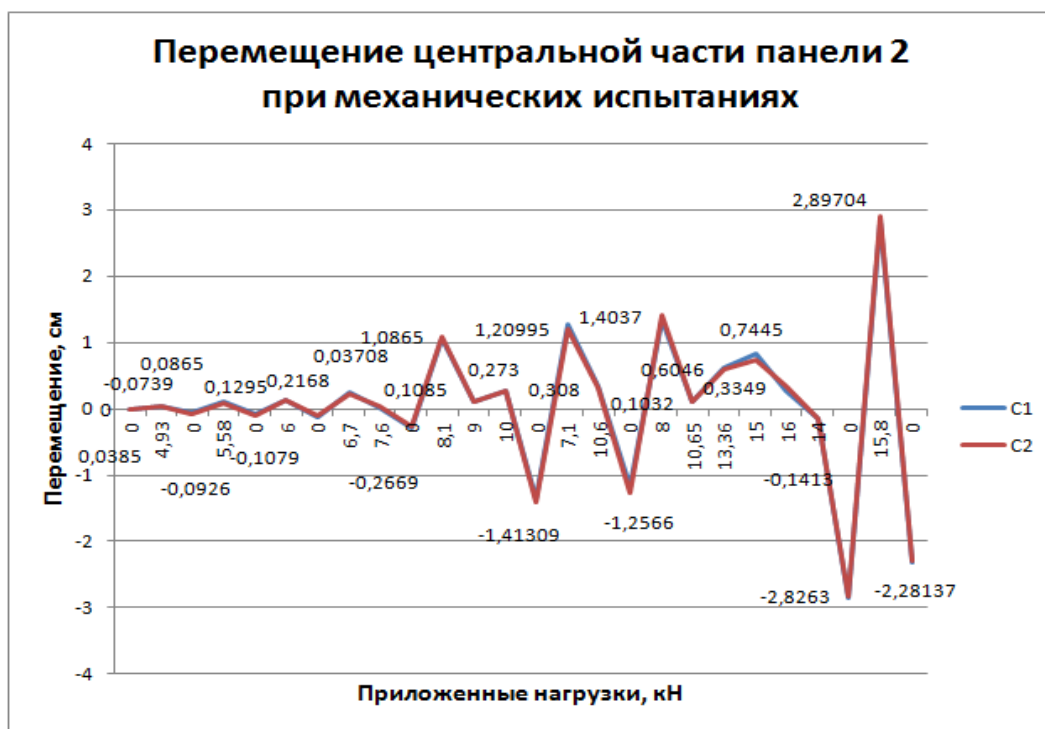


Рисунок 33 – Диаграмма зависимости перемещений центральной части «термопанели» 2 при циклических механических испытаниях

На основании проведенных испытаний, выявлено значительное увеличение несущей способности фанерного каркаса при совместной работе с пенополиуретаном, в среднем на 27 – 49 %, построен график зависимости перемещений от приложенной нагрузки и определены усредненные показатели перемещений при модули упругости фанеры $E = 7500$ МПа (рисунок 34).

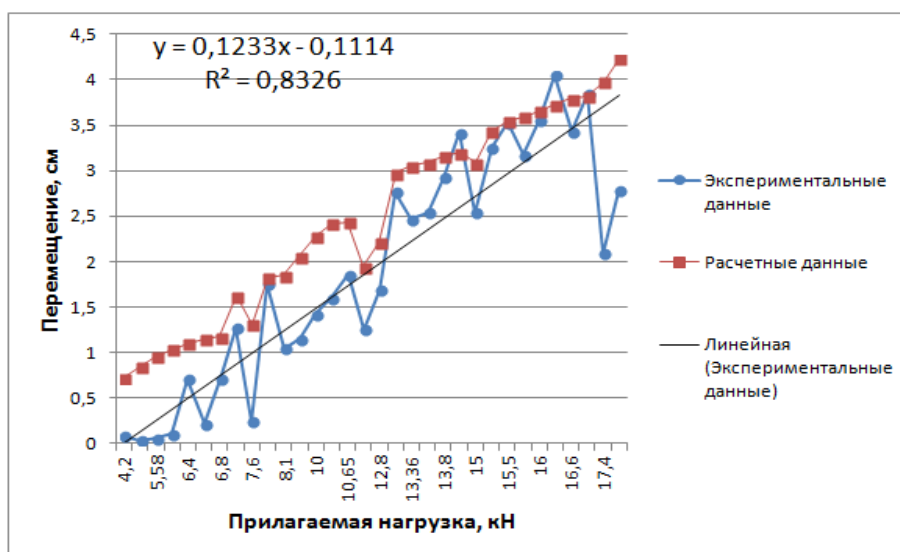


Рисунок 34 – Зависимость нарастания экспериментальных и расчетных перемещений центральной части панели от нагрузки и количества проведенных экспериментов при механических испытаниях



Рисунок 35– Остаточная деформация через месяц после снятия нагрузки с полиуретановой панели и через час – панели, имеющей внешнее покрытие и внутренний каркас



Рисунок 36 – Виды остаточной деформации

В процессе нагружения, определялись прогибы в средней части пролета образцов на каждой ступени нагружения и, исходя из этого, была установлена максимальная разрушающая нагрузка, в данном случае, принята нагрузка от максимального прогиба, без разрушения, которая составила 18,5 кН/м.

При проведении экспериментов на длительную распределенную и ступенчатую нагрузку, подтверждено предположение о постепенном нарастании перемещения, и что наличие покрытия стеклотканью и внутреннего рамного каркаса увеличивают пространственную жесткость «термопанели», ограничивая излишние перемещения, которые в панелях без покрытия и рамного каркаса достаточно быстро становятся больше эстетических и приводят к разрушению.

В ходе испытаний выявлена зависимость несущей способности термопанелей от изменения варьируемых параметров: плотности

пенополиуретана, расположения и наличия каркаса, покрытия стеклотканью, длины панели.

Панели без покрытия и каркаса отличаются значительной деформативностью, и значительно быстрее появляется максимальный прогиб, который быстро растет, из-за низкого модуля упругости и, если бы не возможности экспериментальной установки, должен был бы неизбежно привести к скорейшему разрушению, и частично необратимую деформацию. Остаточное перемещение составило 39,8 мм (рисунки 35 – 36), и даже через 2 месяца после снятия нагрузок остаточная деформация сохранилась и составила 19,6 мм.

«Термопанели» с тканевой обшивкой и фанерным каркасом обладают большей несущей способностью. Распределение нагрузки в данном случае происходит, как и в многослойных панелях: изгибающий момент воспринимают тканевые покрытия и фанерный каркас, а поперечные усилия принимает на себя пенополиуретановый слой. Верхним внешним слоем воспринимаются усилия сжатия, нижним, совместно с мембраной из стеклоткани растяжения, а средним пенополиуретановым слоем с каркасом — сдвига.

На основании данных экспериментов можно предположить, что «термопанель» работает под нагрузкой, как «деревянная балка» и в ней возможно постепенное усталостное нарастание перемещения, и соответственно с увеличением количества циклов нагружения и разгрузки перемещения будут нарастать, а воспринимаемая нагрузка уменьшаться. Наличие покрытия стеклотканью и внутреннего пространственного каркаса увеличивают жесткость «термопанели», ограничивая излишние перемещения.

Возникшие различия в перемещении точек центральных прогибомеров и несимметричное перемещение четырех точек опоры, возможно из-за погрешностей в приборах и не правильной центровки панелей, в целом панели двигались под нагрузкой симметрично.

В процессе испытаний было установлено, что для панелей без покрытия и пространственного внутреннего каркаса максимальная нагрузка составила 12,19 кН/м, при этом максимальный прогиб составил 226,2 мм. Панели с покрытием и

пространственным каркасом при максимальной нагрузке 16,8 кН/м – 18,5 кН/м, прогиб составил 68,6 – 80 мм, что, конечно, значительно больше максимального прогиба равного 8,2 мм [63; 67], при этом остаточная деформация через час после снятия нагрузки составила 8,3 мм, а через месяц – 2,4 мм. Таким образом, панели с покрытием и пространственным каркасом можно отнести к условно упруго деформируемым.

В процессе экспериментов было подтверждено, что если действующая на панель нагрузка не превышает определенного предела, то деформации носят затухающий характер. После приложения нагрузок до определенного предела, пенополиуретановая «термопанель» легко принимает исходную форму. Через сутки после снятия нагрузки в 10 кН/м, значение максимальной остаточной деформации составило ~ 1 мм. Условному пределу упругости «термопанели», при котором начинает проявляться остаточная деформация, соответствует напряжение в 14 кН/м, а затем наступают необратимые последствия: остаточный прогиб, продавливание на опорах, складки по центру панели от сжатия верхнего слоя пенополиуретана.

При испытании термопанелей с фанерным каркасом были выявлены следующие остаточные пластические признаки деформации образцов:

- а) наличие остаточного прогиба;
- б) появление складок, появляющихся под действием сжимающих напряжений, превышающих критические;
- в) отслоение стеклопластиковой ткани от пенополиуретана или прорыв зафиксированы не были;
- в) разрушение пенополиуретана в виде подавления под опорами и вмятин, в результате разрушения структурного верхнего слоя из-за превышения предела прочности;
- г) улавливаемые на слух, звуки трескающегося фанерного каркаса.

Экспериментальные исследования, целью которых является проверка термопанели на длительную несущую способность проводились постепенно нагружаемой равномерно распределенной статической нагрузкой с использованием плоских чугунных гирь с комбинацией их грузов весом в 10, 5 кг,

определенной из расчета сбора нагрузок на 1 м² кровли с учетом постоянной, временной нагрузок и запаса прочности с результирующим весом в 250 кг (статическая нагрузка сохранялась на панели в течение 2-х месяцев и фиксировалась с помощью «Прогибомеров 6-ПАО», предназначенных для определения величин перемещения отдельных точек конструкций при нагружении их статическими нагрузками.)

Термопанель была установлена на две опоры, имитирующие стропильные ноги и закреплена в местах предполагаемого крепления. Прогибомеры установили в 4-х точках: 2 по центру пролета панели с правой и левой стороны и два на опорах левой стороны (рисунок 37, таблица 13).



Рисунок 37 – Общий вид панели при ее испытании статической нагрузкой

Таблица 13 – Результаты натурных испытаний на длительную несущую способность «термопанели»

Дата эксперимента	Перемещения на основании показаний прогибомеров				
		Левая опора	Центральная левая	Центральная правая	Правая опора
10.05.14 нулевые показатели перемещение	показания	1,863	5,0552	5,0577	4,0582
	перемещение	0	0	0	0
С нагрузкой 10.05.14	показания	1,881	5,0753	5,0763	4,0753
	Общее перемещение	0,018	0,0201	0,0186	0,0171
13.05.14	показания	1,886	5,0757	5,0781	4,0787
	Общее перемещение	0,023	0,0205	0,0204	0,0205
18.05.14	показания	1,886	5,0837	5,0870	4,0789
	Общее перемещение	0,023	0,0285	0,0293	0,0207
20.05.14	показания	1,887	5,08948	5,0886	4,0799
	Общее перемещение	0,024	0,03428	0,0309	0,0217

Продолжение таблицы 13

Дата эксперимента	Перемещения на основании показаний прогибомеров				
		Левая опора	Центральная левая	Центральная правая	Правая опора
23.05.14	показания	1,8895	5,0980	5,09789	4,0828
	Общее перемещение	0,0265	0,0428	0,04019	0,0246
26.05.14	показания	1,88997	5,09906	5,09995	4,08503
	Общее перемещение	0,02697	0,04386	0,04225	0,02683
31.05.14	показания	1,89835	5,11499	5,11118	4,0980
	Общее перемещение	0,03535	0,05979	0,05348	0,0398
04.06.14	показания	1,8988	5,11767	5,11799	4,1011
	Общее перемещение	0,0358	0,06247	0,06029	0,0429
09.06.14	показания	1,91127	5,1415	5,14539	4,1107
	Общее перемещение	0,04827	0,0863	0,08769	0,0526
12.06.14	показания	1,91138	5,1451	5,145669	4,1130
	Общее перемещение	0,04838	0,0863	0,087969	0,0549
16.06.14	показания	1,91238	5,15059	5,15678	4,1158
	Общее перемещение	0,04938	0,09539	0,09908	0,0577
19.06.14	показания	1,92472	5,20	5,1980	4,12563
	Общее перемещение	0,06172	0,1448	0,1403	0,06753
23.06.14	показания	1,92487	5,2112	5,2051	4,12793
	Общее перемещение	0,06187	0,1560	0,1474	0,06987
27.06.14	показания	1,9428	5,6093	5,4969	4,14575
	Общее перемещение	0,0798	0,5541	0,4392	0,08769
30.06.14	показания	2,0616	5,8063	5,8629	4,27005
	Общее перемещение, максимальный прогиб	0,1986	0,7511	0,8052	0,21185
30.07.14 после снятия нагрузки	показания	1,85167	5,1892	5,0977	4,0483
	Общее перемещение	-0,01133	0,134	0,04	-0,0099

Ступенчатое нагружение определяет предел прочности «термопанели», длительное сопротивление «термопанели» – от действия постоянной статической нагрузки, показатель действительной прочности – при совместной работе фанерного каркаса и пенополиуретана. По результатам эксперимента была построена асимптотическая кривая длительного сопротивления при расчетном модуле упругости фанеры $E = 7500$ МПа (рис. 38, табл. 14).

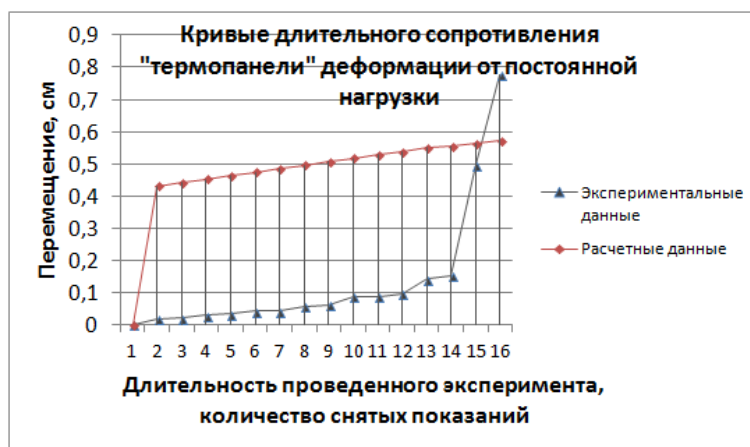


Рисунок 38 – Зависимость изменения длительного сопротивления «термопанели» при деформации постоянной нагрузки от продолжительности проведения эксперимента.

Таблица 14 – Усредненные перемещения центральной части панели от постоянной распределенной нагрузки

№ п/п	Экспериментальные, см	Расчетные, см
1	0,01935	0,4312
2	0,02045	0,442
3	0,0289	0,4528
4	0,03259	0,4636
5	0,041495	0,4744
6	0,043055	0,4852
7	0,056635	0,496
8	0,06138	0,5068
9	0,086995	0,5176
10	0,0871345	0,5284
11	0,097235	0,539
12	0,14255	0,5498
13	0,1517	0,5557
14	0,49665	0,5616
15	0,77815	0,5717
17	0,087	

Асимптотический характер кривой показывает (см. рисунок 38), что предел прочности стремится к некоторому постоянному значению за счет действия продольных сил. С определенного момента величина прогиба скачкообразно увеличивается, то есть, к постоянным напряжениям добавляются упругие деформации, а с течением времени в фанерном каркасе развиваются упругие и остаточные деформации, в первую очередь связанные с упругими деформациями (ползучести), когда деформация образца происходит без увеличения нагрузки («площадка текучести»), со временем эти изменения становятся существеннее. Усредненный максимальный прогиб от действия распределенной постоянной нагрузки в 250 кг за два месяца составил $7,8 \text{ мм} < 8,2 \text{ мм}$ из условия жесткости конструкции [63; 67].

Под действием циклических напряжений снижение прочности материалов происходит быстрее и развивается усталостная деформация. Накопление повреждений означает, что чем больше циклов нагружения, тем меньше должна быть величина нагрузки, чтобы «термопанель» работала не разрушаясь. «Термопанель», как и любой другой несущий элемент имеет диапазон предельных нагрузок и число циклов нагружения. По условиям требования [63; 67], для нормальной эксплуатации максимальная величина прогиба не должна

превышать $[f/l] = 1/120 = 0,0083$ м, исходя из экспериментальных данных, на ступенчатую нагрузку, этим требованиям удовлетворяют показания при нагрузках, не превышающих 6,8 – 8,1 кН/м.

Экспериментально подтверждено, что при начальном ступенчатом нагружении и длительной распределенной нагрузке пенополиуретан, значительно сокращает перемещения фанерного каркаса, работает как демпфер, увеличивая несущую способность плиты, в том числе и благодаря хорошей адгезии с фанерой. Максимальный прогиб в панели оказался значительно меньше ожидаемого расчетного. И если разрушение плиты из пенополистирола с фанерным каркасом и покрытием мембранной тканью «TEND», произошло при максимальной нагрузке в 3,68 кН, то выявленная в процессе экспериментальных испытаний «термопанели» нагрузка в 18,5 кН, не привела к разрушению. Для получения высоких характеристик каркас необходимо располагать ближе к центру сечения «термопанели».

Для подтверждения предположения о демпфирующей способности пенополиуретана, из листа фанеры, используемой для изготовления каркаса «термопанелей», были также изготовлены каркасные полосы аналогичного размера, с целью проведения испытаний их на изгиб. Для проведения испытаний, была разработана специальная конструкция, в которой каркасные фанерные полосы закреплялись в рабочем положении на ребро (рисунок 39).



Рисунок 39 – Испытания фанерного каркаса на несущую способность.

Испытания проводились на гидравлическом прессе AEG5000, для снятия показаний использовался динамометр электронный Мегавес ДАЦ -С-100-2 с

тензодатчиком, установленным под верхней нагружающей платформой прессы и индикатор, фиксирующий показания пикового значения массы на дисплее индикатора. Было проведено три эксперимента, средняя результирующая нагрузка на две полосы каркаса высотой 50 мм из фанеры толщиной 15 мм, составила 1,8 кН, что не достаточно для использования фанеры для несущих элементов каркаса в конструкции с утеплителями из легких и волокнистых материалов.

Для уточнения демпфирующей способности пенополиуретана, и получения сравнительных характеристик плит «термопанелей» из пенополиуретана и пенополистирола, были проведены экспериментальные исследования образцов пенополистирольных плит по образцу «термопанелей».

Для проведения эксперимента были изготовлены три пенополистирольные плиты с внутренним пространственным каркасом и верхне -нижним покрытием мембранной тканью «TEND» на основе стеклохолста фирмы ООО «Парагон». В качестве связующего, между каркасом и обшивками из стеклоткани был использован пенополистирол марки «Knauf Therm», с заявленным коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,039$ (Вт/м·К) и заявленной прочностью при сжатии 70 кПа.

Толщина плиты подбиралась соответственно заявленным производителем теплотехническим показателям. Для создания монолитной конструкции плиты, элементы склеивались при помощи жидкого пенополиуретанового клея «Титан». Характеристики использованных материалов каркаса и стеклоткани полностью совпадали с материалами, используемыми для изготовления «термопанелей» из пенополиуретана (рисунок 40).



Рисунок 40 – Изготовление плит из пенополистирола

Плиты были установлены короткими концами на опоры и зафиксированы. Испытания проводились на гидравлическом прессе «АEG5000», для снятия показаний использовался динамометр электронный «Мегавес ДАЦ-С-100-2» с тензодатчиком, установленным под верхней нагружающей платформой пресса и индикатор, фиксирующий показания пикового значения массы на дисплее индикатора. Шаг нагружения составил $\pm 0,2$ кН.

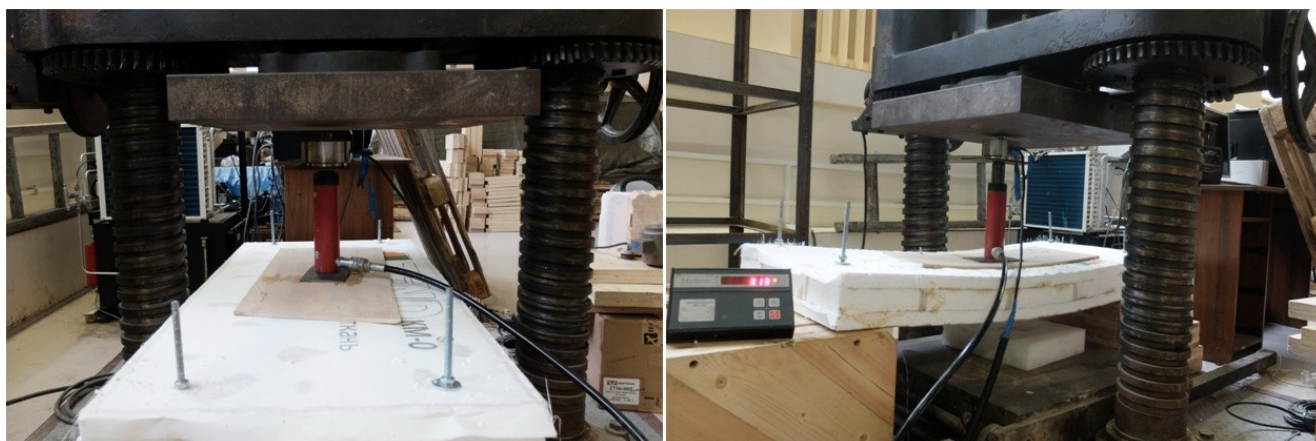


Рисунок 41– Эксперимента на несущую способность пенополистирольных плит, с фиксацией средней нагрузки в 3,18 кН



Рисунок 42 – Характерные признаки разрушения пенополистирольной плиты: трещины в каркасе, отслоение стеклоткани в верхней части плиты, и раскрытие трещин в нижней части плиты, удерживаемых от дальнейшего обрушения только стеклотканью

Максимальная нагрузка при разрушении составила 3,68 кН, что практически равно расчетной нагрузке и недостаточно с учетом необходимого

запаса прочности. Характер разрушения пенополистирольной плиты свидетельствует о разных структурах материалов, принципах работы пенополистирола и пенополиуретана, отсутствии изгибной прочности пенополистирола, более низком сцеплении пенополистирола с фанерой и стеклотканью, способствующих невысокой несущей способности полистирольных плит (рисунки 41 – 42).

При условии непрерывного нарастания перемещений, на основе полученных значений в данной диаграмме, для регрессивного анализа, строим функцию экспоненциальной линии тренда, приблизительно описывающую данный процесс (см.рисунок 34):

$$y = 0,1233x - 0,1114 \quad (26)$$

На основе экспоненциальной линии тренда интерполяцией выведено уравнение зависимости снижения нарастания перемещения от нагрузки, по сравнению с расчетной, на основе демпфирующей способности пенополиуретана при совместной работе с фанерным каркасом:

$$y = -1,623 + 0,314827x + 0,000836674x^2 \quad (27)$$

где y - величина снижения перемещения от расчетной нагрузки, мм; а x - прилагаемая нагрузка.

В данном конструктивном решении пенополиуретан в «термопанели» не только связующее между обшивками, он выполняет одновременно несущие и теплоизолирующие функции, воспринимает часть скалывающих напряжений, возникающих при изгибе плиты, обеспечивает совместную работу фанерного каркаса и стеклоткани.

Из этого можно сделать вывод, что изгибающий момент воспринимают тканевые покрытия и фанерный каркас, соединенные воедино пенополиуретановым слоем, а поперечные усилия принимает на себя пенополиуретановый слой и боковые ребра каркаса, благодаря хорошей адгезии пенополиуретана с каркасом.

«Термопанели» в отличие от кровельных сэндвич-панелей, не образующих жесткого диска покрытия, согласно, полученных результатов, обладают большей

несущей способностью, при не высокой собственной массе и высокой прочности. Обшивки из стали не обладают значительной жесткостью на изгиб, и при нагрузках в 8 – 10 кН получают необратимые деформации, в отличие от обшивок из стеклоткани.

Проведенные исследования подтвердили достаточный запас прочности «термопанелей» ($K_{\text{запаса}} = 1,28$). Если многослойные панели имеют профилированные поверхности, то их несущая способность возрастает.

Для выполнения требований пожарной безопасности возможно изготовление панелей из пенополиизоцианурата, модификации пенополиуретана (Г1), с каркасом из базальтового волокна и прослойкой каменной ваты между слоем пенополиуретана и стеклотканью[50].

Экспериментальные исследования, целью которых является термоиспытания предлагаемой автором готовой конструкции «термопанели» проводились в камере и с использованием тепловизора TESTO 875-1 (рисунок 43).

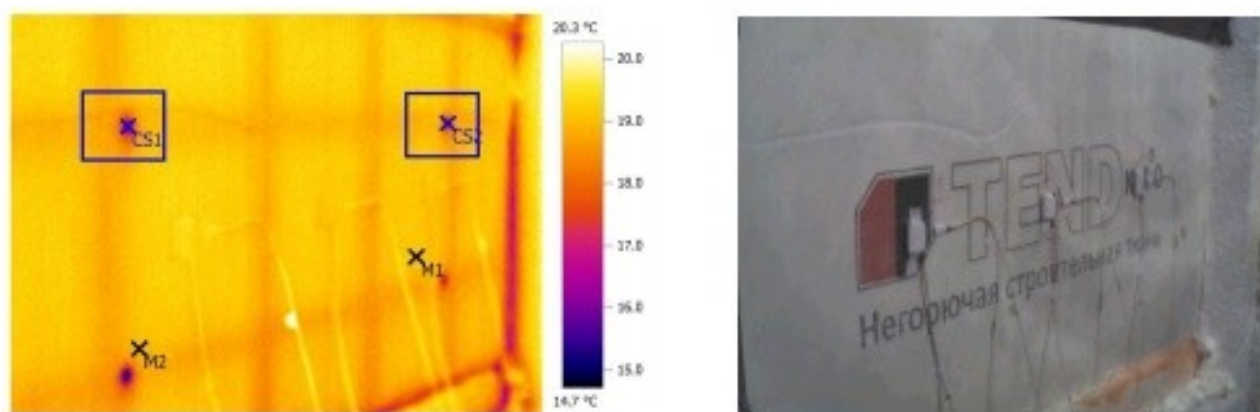


Рисунок 43 – Термоиспытания в камере с использованием тепловизора TESTO 875-1

Экспериментальные исследования с целью установления теплофизических показателей предлагаемой конструкции «термопанели» проводились на базе ИЦ «Блок» СПбГАСУ, они подтвердили требуемые теплофизические качества разрабатываемой конструкции [46].

Перепад температур внутреннего воздуха и температуры на поверхности «термопанели» составил $1,19\text{ °C} < 3\text{ °C}$. Температура в теплом отделении $t_{\text{в}} = 18\text{ °C}$; температура в холодном отделении $t_{\text{н}} = -26\text{ °C}$. Приведенное термическое

сопротивление панели: $R = 4,65 \text{ м}^2\text{К/Вт} > 4,14 \text{ м}^2\text{К/Вт}$ больше минимального термического сопротивления.

В целях обеспечения пожарной безопасности необходима обязательная пропитка фанеры огнезащитными составами, на механические свойства конструкции пропитка не влияет [64; 65; 68].

2.5 Разработка конструкции «термопанели» как основного несущего элемента с каркасом из базальтового волокна

Для повышения огнестойкости конструкции и несущей способности термопанели, предлагается использовать для каркаса базальтовое волокно, обладающее хорошими адгезивными свойствами, невоспламеняемое, устойчивое к электромагнитному излучению, не проводящее электрический ток, что немаловажно для конструкции кровли. В Советском Союзе с 50-х годов, разработка базальтового волокна производилась для использования в воздушных судах, последнее время базальтовое волокно начали применять в качестве пространственного каркаса фундаментов, и армирующей сетки, для дорожного строительства.

Физико-механические свойства базальтовой арматуры зависят от вида волокна и вяжущего. Толщина арматуры подбирается по сортаменту, исходя из необходимых воспринимаемых нагрузок. В качестве элемента каркаса «термопанели» предполагается использовать базальтовую арматуру диаметром 8 мм (рисунок 44, таблица 15). Расчетные характеристики арматуры на несущую способность «термопанели», в качестве несущего элемента кровли, должны базироваться на результатах проведенных испытаний, и учитывать коэффициенты по степени надежности сооружения и длительности действия нагрузки, проведем исследования действительной прочности материала на растяжение и разрыв.



Рисунок 44 – Моток базальтовой арматуры

Таблица 15 – Плотность и теплофизические свойства базальтовой арматуры [121].

Плотность г/см ³	1,25/2,2
Теплофизические свойства	
Максимальная рабочая температура(°C)	320
Минимальная рабочая температура(°C)	-100
Теплопроводность (Вт/м•К)	0,031/0,038
Температура плавления	820

Цель проведения эксперимента на продольное растяжение арматуры является подтверждение прочностных характеристик базальтовой арматуры в результате продольного растяжения, с последующим сопоставлением полученных данных с характеристиками стальной арматуры, для возможности проведения расчетов.

Для проведения испытаний от общих витков арматуры диаметром 8мм были отрезаны 5 образцов длиной 0,25 м. Диаметр образцов был дополнительно замерен штангенциркулем, из результатов замера можно сказать, что тянутая арматура, к которой относится базальтовая арматура имеет неравнозначный диаметр на протяжении всего витка. При заявленном диаметре 8 мм, средне замеренный диаметр составил 7,6 мм. Испытания проводились на разрывной машине *Instron* 5969 100 кН, в автоматическом режиме при скорости нагружения 10 мм/мин (рисунок 45).



Рисунок 45 – Экспериментальная установка для испытаний базальтовой арматуры.

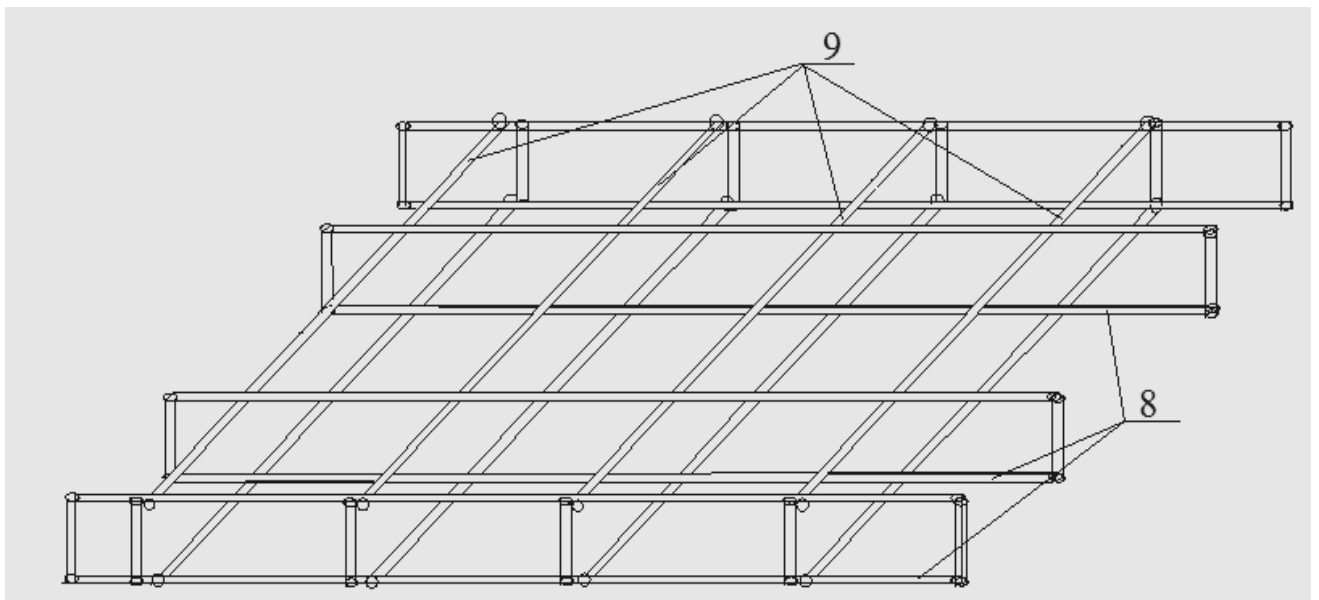


Рисунок 46 – Пространственный каркас из базальтовой арматуры: 8 – продольные ребра; 9 – поперечные

В результате продольного растяжения стержней базальтовой арматуры наблюдалось хрупкое разрушение образцов, без образования вытянутой шейки разрыва, например, как у полиамидного волокна или стали (рисунки 47,48,49)



Рисунок 47 – Зависимость перемещения и выносливости базальтовой арматуры под нагрузкой

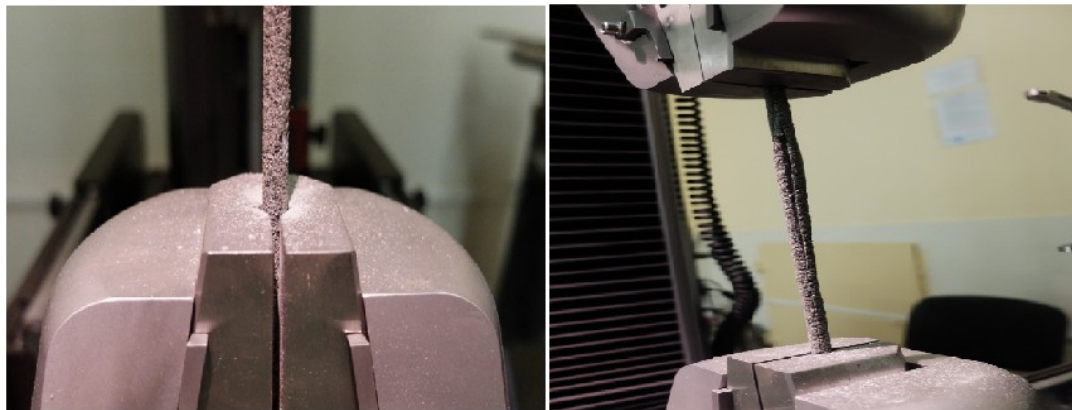


Рисунок 48 – Характерные особенности разрушения базальтовой арматуры

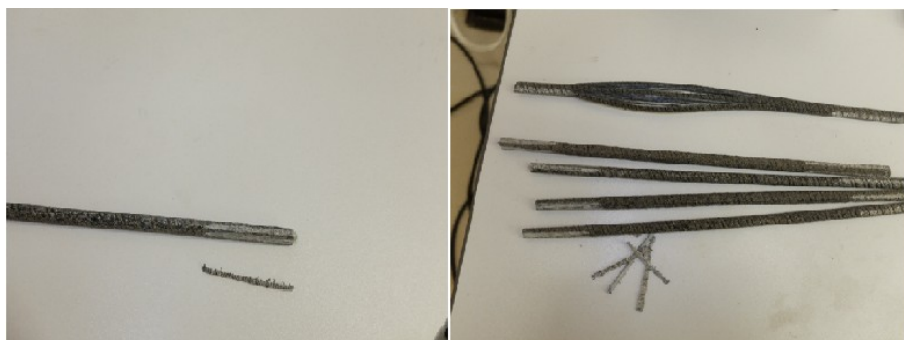


Рисунок 49 – Базальтовая арматура после проведения экспериментов на растяжение, с характерными признаками разрушения

В результате проведения эксперимента было выявлено, что скорее происходит срыв верхней поверхности базальтовой арматуры, нежели ее разрыв и разрушение (см. рисунок 49). Отсюда по характеру разрушений образцов можно заключить, что базальтовая арматура имеет достаточную разрывную жесткость, но более низкую изгибную прочность, при растяжении среднее относительное удлинение арматуры составило всего 5,58 %.

Полученные данные сопоставимы по прочности с данными для холоднотянутой проволоки класса «В» с номинальным диаметром 6 мм, что на диаметр ниже диаметра волокна, но базальтовое волокно обладает малым весом, не поддается ржавчине и коррозии, не может быть «мостиком холода», и способно обеспечить высокую энергоэффективность предлагаемой конструкции «термопанели».

В марте 2015 года в ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко совместно со специалистами Российского университета дружбы народов проведены экспериментальные исследования по оценке эффективности применения арматурных сеток на основе базальтового волокна на основании этих результатов подтверждена возможность использования арматурной сетки из базальтового волокна для усиления и конструкций кровельного ковра, что позволит обеспечить нормативное значение коэффициента теплопроводности и повысить прочность при сжатии [121] .

Хорошая адгезия базальтового волокна и пенополиуретана позволят создать прочную монолитную конструкцию, с высокой несущей способностью, которая значительно превысит несущую способность любой другой конструкции быстросборной кровли с низким показателем теплопроводности.

Ранее, базальтовое волокно в качестве каркаса в пенополиуретановых плитах не использовалось. Основным недостатком базальтового волокна используемого в качестве каркаса является необходимость применения вязки стержней или сеточных каркасов заводского изготовления.

2.6 Теоретические исследования технологии устройства утепленной скатной кровли с обеспечением необходимого воздухообмена

Кровли из штучных материалов (цементно-песчаной, керамической, полимерцементной битумной черепицы; хризотилцементных, сланцевых, композитных, цементноволокнистых плиток), волнистых листов (хризотилцементных, металлических профилированных, битумных цементно-волокнистых) и металлических листов (стальных оцинкованных, с полимерным покрытием, из нержавеющей стали, медных, цинк -титановых, алюминиевых) при эксплуатации характеризуются конденсацией влаги на нижней поверхности листа [77], из-за суточных колебаний температуры, в виде инея зимой и капель конденсата летом при нагреве от солнечной радиации (рисунок 50). Основной причиной этого процесса является понижение температуры внутренней поверхности кровли ниже температуры точки росы воздуха, находящегося в пространстве чердака (Вы не учитываете еще теплообмен излучением в ночное время между поверхностью кровли и небосводом при отсутствии облаков. Вспомните хотя бы иней) .

Для повышения теплозащитных качеств кровли, необходимо предусмотреть устройство в ее конструкции непрерывных воздушных каналов над слоем теплоизоляции вентилируемых за счет движения воздуха в вентиляционных отверстиях у карнизного свеса и выходящие под коньком крыши, образуя тем самым необходимый для движения воздуха перепад высот.

Современные конструктивные решения утепленных фальцевых кровель не всегда обеспечивают своевременный вывод образующейся конденсационной влаги, поступающей, в том числе из внутренних помещений, даже при условии использования различного рода антиконденсатных пленок и специальных натканых материалов на войлочной основе, которые применяются для изоляции утеплителя от влаги, типа «МеталлПрофиль» [4; 5], самоклеящегося покрытия DripStop [3], и объемных диффузионных пленок типа «DELTA-TRELA» [97; 98],. При абсолютно паронепроницаемой наружной оболочке металлической кровли и утеплителя, почти не обладающем водопоглощающими свойствами, также

неизбежно образование конденсата, в том числе и от поступления диффузионной влаги.

Организовать пассивную подкровельную вентиляцию при существующих конструкциях без принудительной вентиляции не возможно.

При металлическом кровельном покрытии, длине ската от 9 м, слабо воздухопроницаемом утеплителе из пенополиуретана, разность давлений воздуха достигает максимальных значений у свеса и под коньком, а на середине высоты равна нулю, т.е. равна давлению воздуха, следовательно, также, возможно влагонакопление.

В широко рекламируемых «сэндвич-панелях» из-за неизбежного наличия пространственных пустот между наружной оболочкой и утеплителем из каменной ваты образуется конденсационная влага, конденсат образуется и при заливочном способе изготовления из ППУ в пустотах, который при солнечном излучении испаряется, создавая избыточное давление, и образуются паровые вздутия; при дальнейшем образовании конденсата они неизбежно будут увеличиваться со всеми выходящими последствиями.

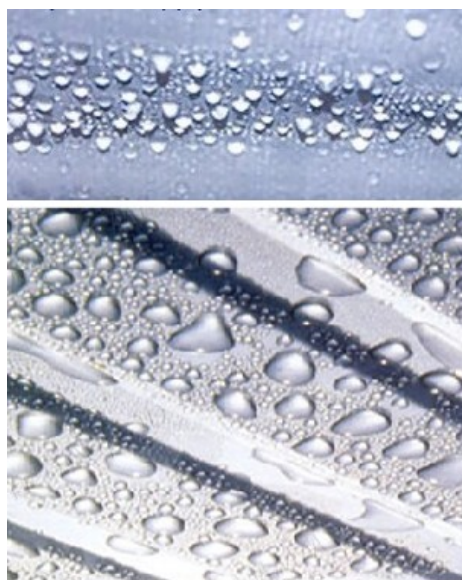


Рисунок 50 – Конденсат на нижней стороне листа «сэндвич-панелей», зимой и в летний период

Главной задачей организации вентиляционных каналов является увеличение воздушного потока, снижение температуры в подкровельном пространстве между утеплителем и кровлей, максимальное ее приближение к температуре наружного воздуха, снижение количества образующегося конденсата (см. рисунок 50) на нижней стороне кровельного листа и увеличение скорости его просыхания.

Проблемой измерений скорости движения ветра в вентиляционных каналах, занимался сотрудник НИИСФ Ю.А. Табунщиков, ныне академик РААСН, доктор технических наук, профессор, глава ассоциации АВОК [81]. Основные научные работы в области вентилируемых кровель принадлежат немецким ученым К. Зайферт [24], в строительной физике профессору доктору Е. Шильду, инженеру Х.-Ф. Кассельману [94]. Эта проблема актуальна и по сей день, т.к. до настоящего времени не создана оптимальная модель самовентилируемой кровли, способной противостоять потерям тепла в атмосферу и образованию сосулек.

Основными факторами, влияющими, на поток движения воздуха в вентиляционных каналах являются: уклон кровли, длина ската, разность температур на кромке кровли, размер сечения, форма вентиляционного канала, и размер и расположение входных отверстий. Любое препятствие на пути движения воздуха ухудшает работу канала, немаловажное значение имеет материал образующий воздушный канал, ворсистость и шероховатость поверхности (например, каменная вата), наличие которых способствуют снижению скорости движения потока воздуха.

Для вентиляции подкровельного пространства необходимо, чтобы общая площадь сечения вентиляционных каналов была не менее 1/300 от площади горизонтальной проекции кровли [76; 79; 81].

Приведем методику оценки расхода воздуха в вентиляционных каналах кровли.

По нормативам определяется сумма минимального объема воздуха, который должен проходить по вентиляционным каналам ($\text{м}^3/\text{час.}$), согласно этим требованиям подбирается высота канала, при этом она не может быть меньше 50 мм и ширину канала, которая не может быть меньше 100 мм. Исходя из этих требования, автором производится расчет методом последовательных приближений, подбирая оптимальный угол наклона кровли, длину ската и площадь сечения вентиляционного канала.

При наличии перепада отметок входных и выходных вентиляционных отверстий более 1 м скорость движения воздуха в каналах за счет гравитационного напора определяется по формуле [24]:

$$v = \sqrt{\frac{2H(\gamma_n - \gamma_{cp})}{\gamma \left(\frac{L}{d} + \sum \xi + 1 \right)}} \quad (28)$$

где H – перепад отметок входа и выхода воздуха, м; γ_n, γ_{cp} – плотность наружного воздуха и воздуха в прослойке, кг/м³, при несоизмеримо малых величинах может быть заменена на: k_1, k_2 – аэродинамические коэффициенты на входе в канал и выходе из него при направлении ветра под углом $\Theta = 90^\circ$; $k_1 = +0,6$; $k_2 = -0,15$; при $\Theta = 45^\circ$; $k_1 = +0,2$; $k_2 = -0,1$; L – аэродинамические сопротивления движению потока воздуха; $\Sigma \xi$ – сумма местных сопротивлений, ξ – безразмерные величины, на входе и на выходе из каналов для конструкции с карнизным свесом при h_2/h_1 на входе $\xi = 2$, а на выходе $\xi = 3$; L – длина вентилируемого канала в м. приравненная в этом случае эквивалентной длине L_k ; значение L_k – длина канала на протяжении которой не происходит конденсации влаги, м, $L_k \geq 0,95L$, и условии, что в конце вентилируемого канала упругость водяного пара $e = E_k$,

$$(29)$$

где: E_k – максимальная упругость водяного пара, соответствующая температуре нижней поверхности канала, Па; d – эквивалентный диаметр канала, м [119]. Эквивалентный диаметр канала прямоугольного сечения определяется по формуле: $d = 2ab/(a+b)$,

$$(30)$$

где a, b – размеры сечения канала, м.

Коэффициент зависимости от высоты входных отверстий вентилируемой прослойки ζ , учитывающий высоту расположения над землей входных отверстий вентилируемой прослойки, при высоте здания более 10 м принимается $\zeta = 1$, при высоте 8 метров $\zeta = 0,96$ [24].

Отсюда для углов $10^\circ - 18^\circ$ – $\sin \alpha = 0,1736 - 0,309$, с углом наклона 30° – $\sin \alpha = 0,5$, коэффициент трения $\zeta = 0,89(64/Re) \sim 57$.

$$(31)$$

Скорость потока воздуха W при разности температур в 2°C и углах наклона $10^\circ - 18^\circ$ в образуемых каналах, равная сопротивлению, соответствующему расчетному давлению, с учетом потерь на трение для не металлических каналов [24]: $W = \frac{2gd^2}{57\nu} \cdot \frac{\gamma_1 - \gamma_2}{\gamma_{cp}} \cdot \sin \alpha$

$$(32)$$

$$W_{10} = 0,14 \text{ м/с}; W_{15} = 0,209 \text{ м/с}; W_{18} = 0,25 \text{ м/с}; W_{30} = 0,404 \text{ м/с};$$

где W – скорости потока воздуха для различных углов наклона 10, 15, 18 и 30° , $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

Эквивалентный диаметр канала прямоугольного сечения:

$$d = 2a \cdot b / (a + b) = 0,067, \text{ где } a, b \text{ – размеры сечения канала, м (соответственно}$$

0,1 и 0,05 м);

Разность плотностей: $\Delta\gamma = \gamma_1 - \gamma_2 = 0,0093 \text{ кг/м}^3$,

где v – скорость движения воздуха, зависит от силы ветрового потока, для атмосферного воздуха $v = 0,5 \text{ м/с}$. (рисунки 51, 52, таблицы 16, 17) .

При этом, потери давления в воздушных каналах складываются из потерь на трение R и потерь от длинны каналов, умноженных на коэффициент k , зависящий от шероховатости материала воздушных каналов: $p = 1,15 \cdot R \cdot L_k$; (33)

где R – удельная потеря давления по длине канала от трения, Па/м; L_k – длина канала, на протяжении которой не происходит конденсации влаги, м, $L_k \geq 0,95L$; $k = 1,15$,

Полученные значения скорости потока воздуха не зависят от степени паропроницаемости слоя теплоизоляции.

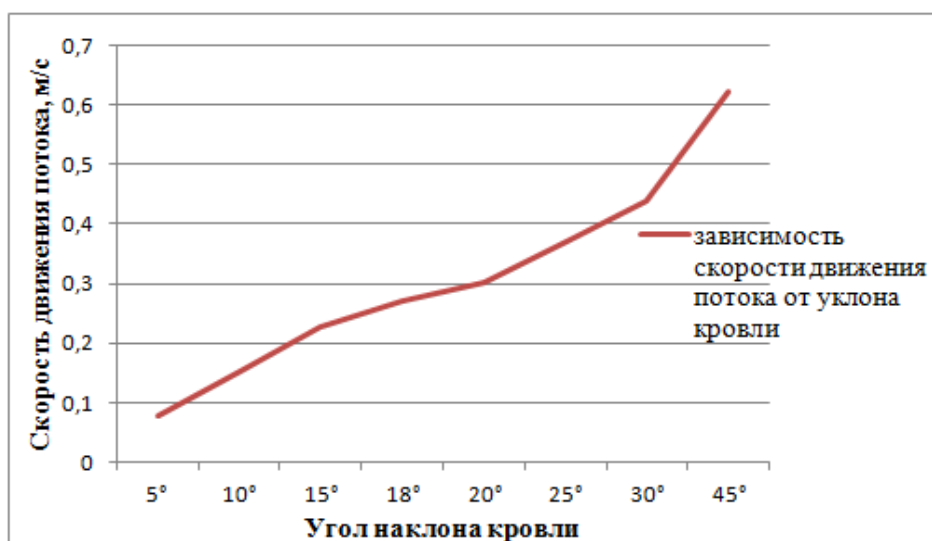


Рисунок 51 – Зависимость скорости потока от уклона кровли.

Таблица 16 – Зависимость скорости движения воздуха от уклона кровли.

Угол уклона	Скорость потока ,м/с
5°	0,0767
10°	0,1527
15°	0,2277
18°	0,2717
20°	0,3008
25°	0,3716
30°	0,4397
45°	0,6217

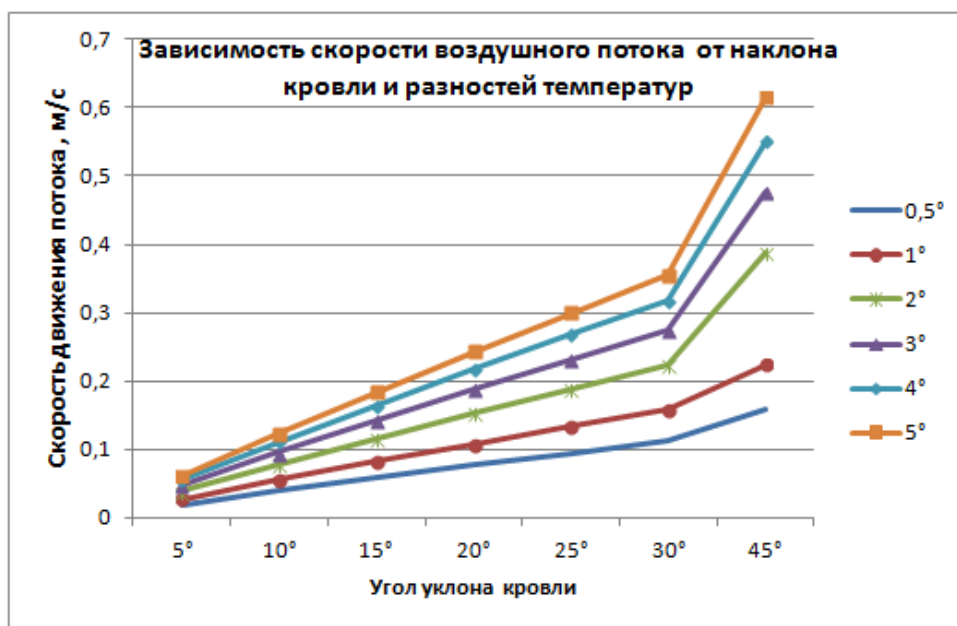


Рисунок 52 – Зависимость скорости потока от уклона кровли и разности температур

Таблица 17 – Зависимость скорости потока от уклона и разности температур

Уклон кровли	Разница температур					
	0,5°	1°	2°	3°	4°	5°
5°	0,0196	0,0278	0,0392	0,0478	0,055	0,062
10°	0,039	0,0552	0,078	0,0956	0,1104	0,1235
15°	0,058	0,082	0,116	0,142	0,1642	0,1838
20°	0,077	0,1085	0,1535	0,188	0,2175	0,243
25°	0,0948	0,134	0,1895	0,232	0,268	0,3
30°	0,1123	0,159	0,2245	0,275	0,318	0,356
45°	0,159	0,2245	0,388	0,476	0,55	0,615

Для обеспечения долговечности кровельной системы необходимо предусмотреть мероприятия по высушиванию конструкции кровли.

Показатель S_d – сопротивление паропрооницанию, определяется как произведение коэффициента сопротивления диффузии пара - μ , который является постоянным для данного материала и толщины элемента конструкции s в метрах:

$$S_d = \mu \cdot s = 50 \cdot 0,15 = 7,5 \text{ см} \quad (34)$$

В соответствии с общим уравнением паропереноса, количество проходящего через сечение пара g составит:

$$g = \frac{P_1 - P_2}{s \cdot \mu \cdot N} = 0,00008 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}) = 0,08 \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}), \quad (35)$$

С целью уменьшения образования конденсата относительная влажность воздуха в воздушной прослойке должна быть принята 80 %, при этом сила

$$N=(R_D \cdot T)/D= 150000 \text{ мг}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}), \quad (36)$$

где – P_1 и P_2 - парциальное давление: $P_1= 1631 \text{ Па}$, $P_2 = 695,8 \text{ Па}$; газовая постоянная водяного пара $R_D - R_D= 47,1 \text{ кг} \cdot \text{м}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, D - коэффициент диффузии водяного пара – $D= 0,094 \text{ м}^2/\text{ч}$, абсолютная температура $T=293 \text{ К}$.

На основании расчетов была разработана конструкция «термопанели», которая имеет ребристую поверхность с верхней стороны имитирующую обрешетку, толщиной в наименьшем сечении 100 мм (рисунок 53).

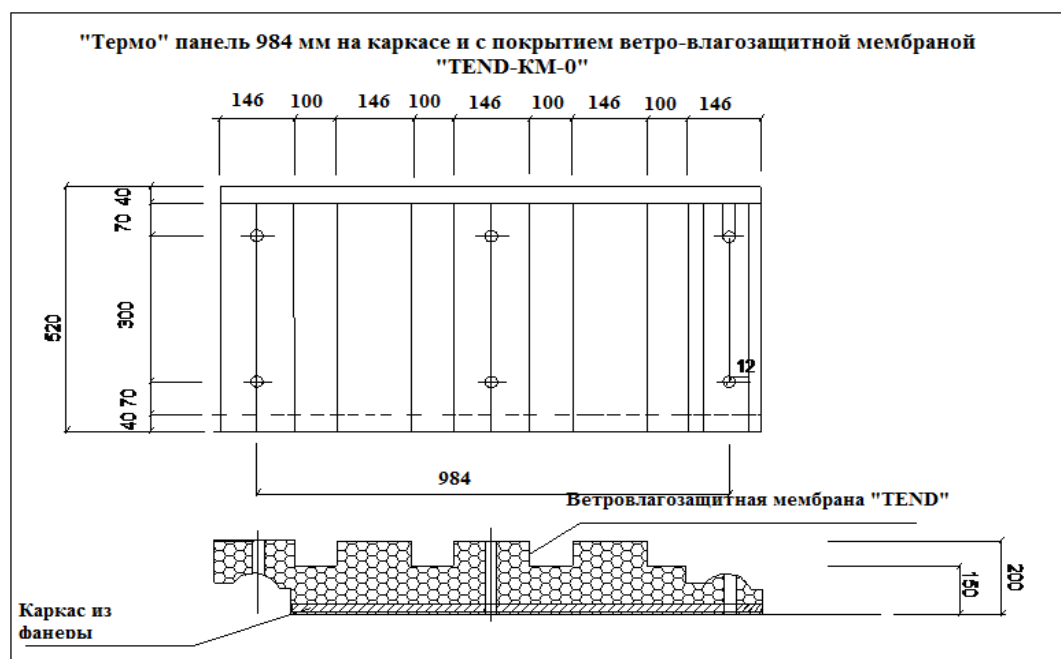


Рисунок 53 – Конструкция «термопанели»

Панели устанавливаются на стропила, в направлении от карниза к коньку, и образуют вентиляционные каналы прямоугольного сечения на всю длину ската (рисунок 54), которые способствуют удалению влаги и сохранению интервала относительной влажности воздуха под крышей от 55 % до 80 % при оптимальных углах наклона кровли равных 18° и 30° (см. рисунки 51, 52). Скорость потока воздуха в каналах при разнице температур в 2°C для этих углов составляет $W_{18}= 0,25 \text{ м/с}$; $W_{30}= 0,404 \text{ м/сек}$.

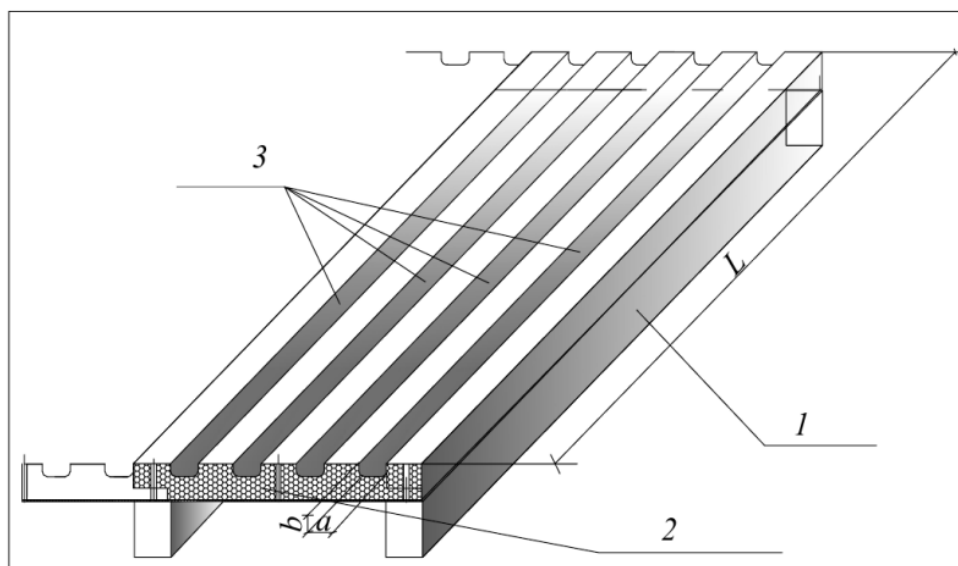


Рисунок 54 – Схема раскладки термопанелей, образующих вентиляционные каналы: 1 – стропила; 2 – «термопанели», 3 – вентиляционные каналы, образуемые уложенными на стропила панелями; b – высота канала; a – ширина канала; L – длина канала равная 0,95 длины ската

Средняя температура наружного воздуха с декабря по март в Санкт-Петербурге $+3^{\circ}\text{C}$. В соответствии с общим уравнения пара переноса, с целью уменьшения конденсации, относительная влажность воздуха должна быть принята 80 %, при этой влажности воздуха он может воспринять еще $1,2 \text{ г/м}^3$, прежде чем будет достигнута граница насыщения. Для стабильного состояния воздуха в воздушной прослойке, необходимо отводить определенный объем воздуха – около 132 г/ч, $132:1,2 = 110 \text{ м}^3$ в час.

Суммарная площадь каналов приходящаяся, например, на 20 м длины фасада равна длине ската L умноженной на количество каналов и на площадь канала $\sim 0,8 \text{ м}^2$. При выше указанной возможной скорости потока воздуха 0,25 м/с, воздухообмен составляет $0,075 \text{ м}^3/\text{с}$ или $270 \text{ м}^3/\text{ч}$, что значительно больше необходимого количества равного $110 \text{ м}^3/\text{ч}$, то есть в этом случае достаточно естественной вентиляции.

Расчет необходимой высоты и ширины ребер утеплителя проводился методом последовательных приближений. Для необходимого движения воздуха по воздушным каналам необходимо, чтобы средняя скорость воздуха составляла $\sim 0,25 - 0,4 \text{ м/с}$ (рисунки 55).

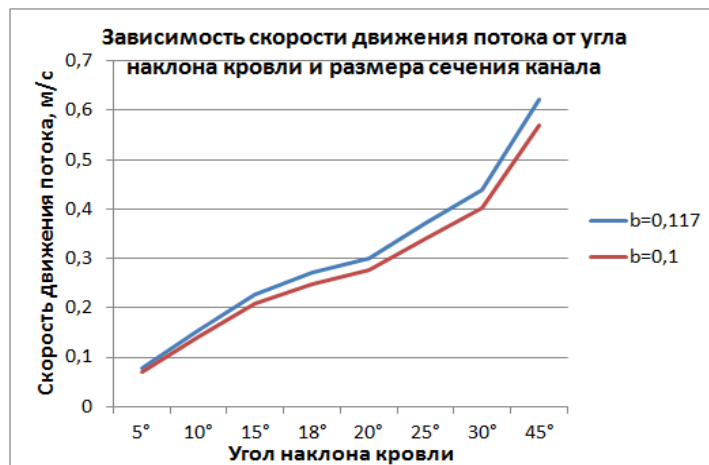


Рисунок 55 – Зависимость движения потока воздуха от угла наклона кровли и размера сечения канала

Таблица 18 – Зависимость движения потока воздуха от угла наклона кровли и размера сечения канала

Угол уклона кровли	Ширина вентиляционного канала, м	
	0,117	0,1
5°	0,0767	0,07
10°	0,1527	0,1399
15°	0,2277	0,20865
18°	0,2717	0,2489
20°	0,3008	0,2755
25°	0,3716	0,3404
30°	0,4397	0,4028
45°	0,6217	0,5696

Из полученной таблицы понятно, что естественная вентиляция имеет малую скорость и эффективность для каналов с небольшим сечением и отсутствием избытка теплоты, но при использовании утеплителя с низкой степенью паро- и водонепроницаемости, этой скорости вполне достаточно для удаления диффузионной влаги, плюс – простота конструкции, низкая стоимость и легкость в обслуживании.

На основании ранее проведенных экспериментальных исследований и расчетов были разработаны три варианта «термопанелей», с взаимозаменяемыми составляющими, при неизменности общей конструкции. «Термопанель» с каркасом из базальтового волокна и верхнее нижним покрытием стеклотканью (рисунок 56), панель с пространственным фанерным каркасом и покрытием стеклотканью и панель с покрытием стеклотканью (рисунок 57), пространственным каркасом и прослойкой каменной ваты, между слоем стеклоткани и пенополиуретана (рисунок 58). Также, по требованиям пожарной безопасности панель может изготавливаться из модифицированного пенополиуретана, пенополиизоцианурата (Г1) [50].

Валентином Анатольевичем Ушковым, к.т.н. зав. лабораторией современных композиционных строительных материалов ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет», установлено, что применение оксиэтилированного тетраалкилфосфоната пентаэритрита (фостетрол-1) позволяет получить слабогорючие нетлеющие жесткие ППУ при концентрации фосфора в ППУ 0,7 – 1 и 2,5 – 3 % массы соответственно. Выявлено, что токсичность продуктов пиролиза и горения снижается при применении Cu_2O , $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ или шпинелей хрома. Оптимальное сочетание фостетрола-1 с указанными соединениями позволяет получать жесткие ППУ с пониженной пожарной опасностью и высокими эксплуатационными показателями.[120].

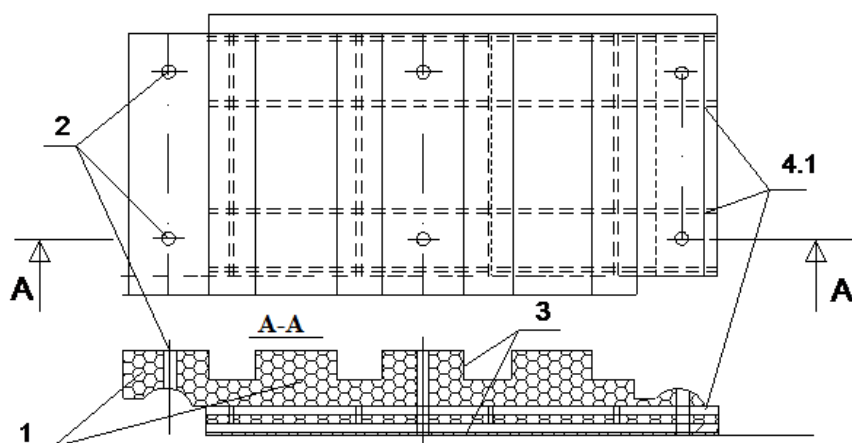


Рисунок 56 – Схема конструкции «термопанели» с каркасом из базальтового волокна: 1 – пенополиуретановый слой; 2 – установочные отверстия; 3 – стеклоткань; 4.1 – каркас из базальтового волокна

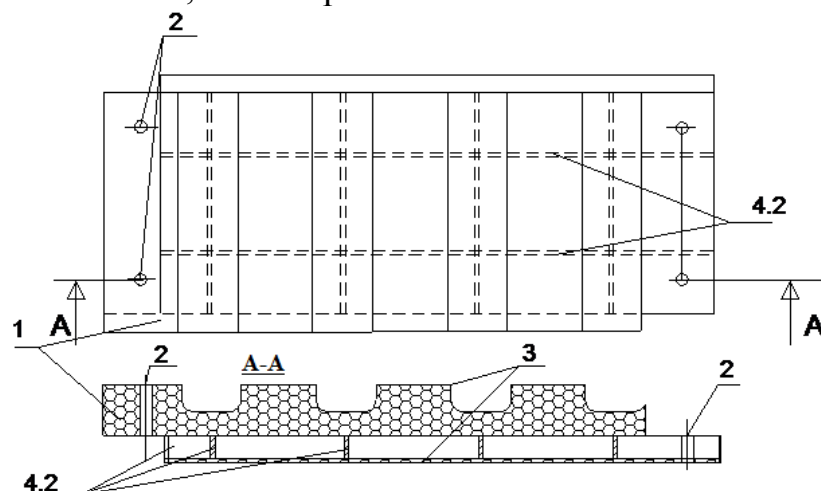


Рисунок 57 – Схема конструкции «термопанели», имеющей коробчатый каркас из фанеры: 1 – пенополиуретановый слой, 2 – установочные отверстия, 3 – стеклоткань, 4.2 – каркас из фанеры

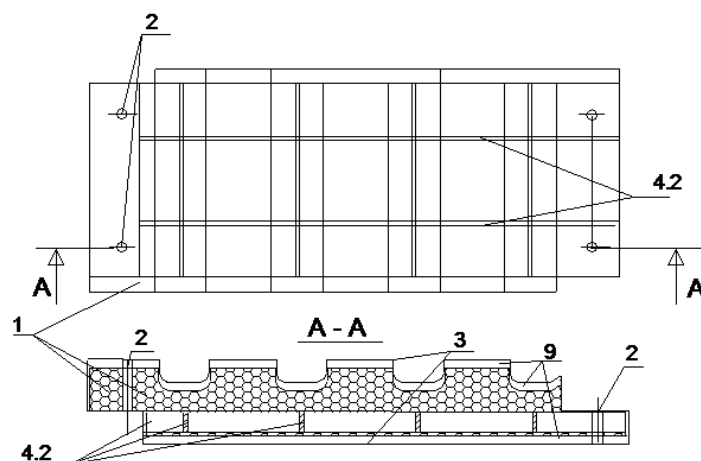


Рисунок 58 – Схема конструкции «термопанели», имеющей коробчатый каркас из фанеры, и слой каменной ваты между стеклотканью и пенополиуретаном:

1 – пенополиуретановый слой; 2 – установочные отверстия; 3 – ветро- влагозащитная мембрана «TEND»; 4.2 – каркас из фанеры; 9 – слой каменной ваты

Движение воздушных масс в подкровельном пространстве, возникает за счет разности воздушного давления (давления ветра), и разности температуры воздуха (конвективного потока). Разность давления воздуха достигает максимальных значений у свеса и под коньком, а на середине высоты кровли равна нулю, за счет потерь на трение, для улучшения циркуляции воздуха по воздушным каналам в предлагаемой автором технологии, предлагается при длине ската 9 и более метров, а также по центру ската устанавливать специальные решетки (аэраторы) на ширину ската, а также коньковые аэраторы и аэраторы свеса, способствующие подсосу воздуха (рисунок 59). В местах примыкания кровли к выходу дымовых труб устанавливают местные аэраторы. Аэрационные отверстия на скате, у конька, и в случае установки по центру ската, должны быть обязательно защищены металлической сеткой [20].

Оптимальной является длина ската с карнизным свесом от 6 до 9 м, с разницей высот от ската до конька до 3 м.



Рисунок 59 – Аэратор для установки на кровлю в местах выхода дымоходных труб

Фронтонная часть металлических стропил, во избежание появления «мостиков холода» и, как следствие, конденсата должна быть обязательно утеплена с использованием плоского листа пенополиуретана (рисунок 60).

Анализ результатов расчета показывает, что вентиляция воздушных прослоек оказывает благотворное влияние на влажностный режим ограждения, улучшение теплозащитных качеств крыш и срок их службы. Увеличение толщины воздушной прослойки мало влияет на сокращение количества тепла, проходящего через нее и эффективными в теплотехническом отношении являются прослойки шириной ≥ 50 мм.

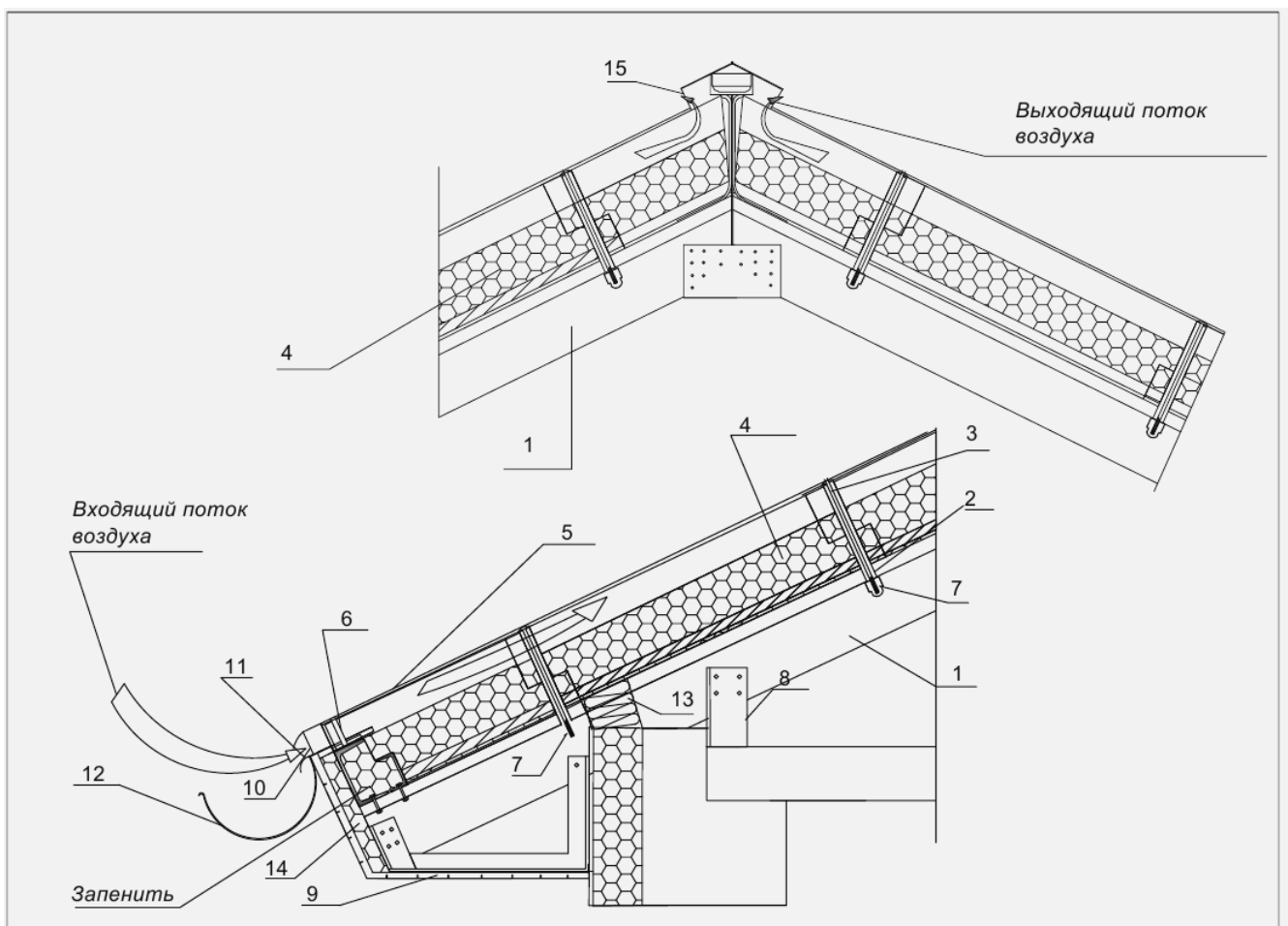


Рисунок 60 – Карнизный свес закрытого типа вентилируемой кровли с установкой на металлические стропила:

- 1 – стропила; 2 – дюбель-распорка; 3 – крепежный элемент; 4 – «термопанель»; 5 – металлический лист; 6 – крепежная петля; 7 – гайка колпачковая пластиковая; 8 – мауэрлат; 9 – подшивка свеса из ПВХ; 10 – вентиляционная сетка, аэратор свеса; 11 – фартук свеса; 12 – водосточный желоб; 13 – элемент утепления; 14 – утепляющая прослойка; 15 – коньковый элемент типа аэратора конькового или флюгарки

Выводы по 2 главе

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований, подтвердивших возможность использования пенополиуретана меньшей плотности, без потери несущей способности, что существенно уменьшит массу конструкции кровли и снизит стоимость кровельного материала, в качестве материала утеплителя был выбран жесткий мелкоячеистый пенополиуретан с кажущейся плотностью $38 - 42 \text{ кг/м}^3$, низкой гигроскопичностью, с подтвержденным коэффициентом теплопроводности $\lambda = 0,022 - 0,024 \text{ Вт/м}^2\text{К}$, который относится к трудновоспламеняемым самозатухающим материалам (Г2), и термической устойчивостью значительно выше ранее заявленной $+160^\circ\text{C}$. Пенополиуретан обладает хорошей адгезией, экологически безопасен, при его производстве не используются фреоны, может применяться при устройстве кровель малоэтажных зданий, что подтверждает и не ограничивает область применения свод правил СП 17.13330.2011 «Кровли».

В результате экспериментальных исследований подтверждено, что пенополиуретан хорошо работает на изгиб, обладает свойством пластичности и изгибной прочностью, сопротивляясь действию приложенных нагрузок, до определенного периода, восстанавливает первоначальную форму.

На основании требований унификации, простоты сборки, при соблюдении условий жесткости конструкции определены рациональная длина «термопанели», исходя из шага стропил ($0,75 - 1,5 \text{ м}$) и шаг отверстий под дюбельный крепеж ($0,25 - 0,30 \text{ м}$).

Разработаны два варианта конструктивных решений «термопанели» для утепленных фальцевых кровель из пенополиуретана с верхним и нижним армирующим жестко соединенным с панелью покрытием стеклотканью, как основного несущего элемента: с пространственным фанерным каркасом и каркасом на основе базальтовой арматуры. Каркас выполнен в виде пространственной сетки из пересекающихся продольных ребер и поперечных перемычек, установленных с равным шагом. Каркас расположен внутри панели.

Разработанная «термопанель» имеет ребристый профиль для образования

вентиляционных каналов и установочные отверстия на ее боковых продольных поверхностях, способствуя унификации элементов крыши, бездефектности сборки разработанного элемента. По требованиям пожарной безопасности между слоем пенополиуретана и стеклотканью, возможна установка слоя каменной ваты [50], или введение дополнительных добавок в виде фостетрола-1 и шпинели хрома, что позволит получать жесткие ППУ с пониженной пожарной опасностью и высокими эксплуатационными показателями [120].

Результаты испытаний напряженного состояния образцов «термопанелей» показали, что прочность панелей из пенополиуретана является достаточной для того, чтобы воспринимать все виды длительных статических и динамических воздействий, со значительным коэффициентом запаса, средняя нагрузка на 1 м^2 составила 14 кН/м, при требуемой максимальной расчетной нагрузке 3 кН/м, что позволяет использовать «термопанели» в качестве быстросборных несущих конструктивных элементов. Пенополиуретан обладает демпфирующими способностями, участвует в восприятии приложенных нагрузок, сокращает возможные перемещения, хорошо работает на изгиб, обеспечивает совместность работы фанерных ребер и стеклоткани.

На основании теоретических расчетов была разработана верхняя ребристая поверхность конструкции «термопанели», имитирующая обрешетку, использование которой позволяет создать утепленную скатную кровлю с естественной вентиляцией, за счет наличия вентиляционных каналов, образуемых ребристой поверхностью «термопанелей», с учетом обеспечения необходимого воздухообмена кровли. Для создания интервала относительной влажности воздуха под кровлей от 55 % до 80 % предложен оптимальный угол наклона кровли равный 18° и 30° .

Целесообразность применения разработанных автором «термопанелей» в малоэтажном и легкокаркасном домостроении, обусловлена необходимостью обеспечения теплозащиты сооружения, установкой энергоэффективных конструктивных утеплителей, легких, но с хорошей прижимной способностью, создающих герметичное кровельное покрытие, с высокой несущей способностью, позволяющей одновременно выполнять функции прогонов и настила и возможностью лучше противостоять ветровым и снеговым нагрузкам.

Таблица 19 – Сравнение характеристик «термопанели» и «сэндвич-панели»

Сравниваемые характеристики	«Сэндвич-панель» (с сердечниками из пенополистирола, пенополиуретана или каменной ваты)	«Термопанель»
Внешнее покрытие	Нет необходимости устанавливать внешнее кровельное покрытие, материал облицовки высококачественная сталь	Необходимо устанавливать кровельное покрытие, материал облицовки стеклоткань
Целостность эстетического восприятия	Панели из разных партий могут иметь различные оттенки.	Есть возможность сохранения исторического ансамбля
Несущая способность при длине пролета, равном монтажной ширине 1140мм	3,37кН/м	17,4-18,5кН/м
Образование термических мостов	Возможное промерзание в зимних условиях «сэндвич-панелей» в стыках и в местах установки крепежа	Минимальная вероятность образования мостиков холода
Целостная герметичность кровельного покрытия	Не высокая герметичность стыков, даже при использовании замков типа Roof-Lock, необходимость установки различного рода нащельников, в местах крепления панелей с несущими конструкциями и т.д. В связи с различием коэффициентов расширения металла и утеплителя, при суточном колебании температур в конструкции возникают значительные температурные напряжения, возможно отслоение обшивок от заполнителя.	Сверху на «термопанели» устанавливается рулонная фальцевая кровля. Возможные температурные расширения и перемещения металла компенсируют клеммерное крепление установленные дюбеля и установочные отверстия в «термопанелях».
Паропроницаемость	В отапливаемых помещениях, особенно в зимний период, чтоб избежать выпадение росы в подкровельном пространстве, необходимо устраивать принудительную вентиляцию и воздушное отопление, из-за абсолютной герметичности, в противном случае плесень, грибок...	Наличие температурно влажностного баланса на поверхности «термопанели» с микроклиматом внутренних помещений, и с наружной атмосферой, по сути, внутренняя поверхность «термопанели» будет выступать в виде инерционного буфера.
Вес конструкции	Кровельная сэндвич панель достаточно тяжелая конструкция (19-21 кг/м ²),	Вес 1м ² «термопанели» 6,35 кг, Вес стального листа 1м ² толщиной 0,7- 3,35кг. Итого 9,7 кг. Технология позволяет увеличить теплоизоляционные свойства без значительного увеличения массы кровли,
Технология монтажа	Крепление только сквозь лист металла. Высокий профессионализм при установке крепежного элемента, строго под углом 90 градусов, «сэндвич-панель» при установке достаточно сложно центровать, и требуется целая бригада профессиональных кровельщиков и использование грузоподъемного механизма и специальных захватов.	Все крепежные элементы сверху накрываются следующим кровельным листом, наличие установочных отверстий не требует высокой квалификации кровельного мастера. Панели легко устанавливаются в рабочее положение силами одного кровельщика, нет необходимости использовать грузоподъемные механизмы при монтаже.

Настоящее изобретение промышленно применимо, может быть изготовлено на основе известных технологий, не требующих крупного комбината для производства, возможно изготовление материалов строго необходимых размеров, что значительно уменьшит количество отходов, и сократит расходы.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СПОСОБА КРЕПЛЕНИЯ ТЕРМОПАНЕЛЕЙ И СТРОПИЛ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ И ПОЛИМЕРНЫХ КРЕПЕЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

3.1 Разработка способа крепления термопанелей и стропил (металлических и деревянных) с использованием металлических и полимерных крепежных элементов

Продолжительность устройства и реконструкции вентилируемой фальцевой утепленной кровли из унифицированных быстросборных элементов (термопанелей) кровли зависит от сложности монтажа верхнего кровельного покрытия и крепления кровельной системы, при этом важно учитывать совместимость материалов, из которых выполнены элементы кровли и крепежа [12; 16; 34; 51; 52; 70; 74; 76]. Крепежные элементы не должны влиять на снижение эффективности теплозащиты и образование конденсата «мостиков холода» в местах установки крепежных элементов, количество которых достаточно велико.

Основными недостатками рассмотренных способов крепления кровельной системы при устройстве вентилируемой фальцевой кровли, являются сложность и большая трудоемкость выполнения работ, из-за необходимости предварительного закрепления кровли. Дюбеля не являются временной несущей конструкцией, их установку приходится выполнять «вслепую» и закреплять конструкцию при помощи шурупов или гвоздей, что ухудшает надежность крепления и не препятствуют возможному выдергиванию его в процессе эксплуатации. Несоразмерная величина шляпки крепежных элементов снижает надежность фальцевого соединения. Для выполнения этих способов необходимы профессиональные рабочие, ошибки проявляются только в процессе эксплуатации крыши, приводя к отрыву кровельного покрытия от ветровых и снеговых нагрузок.

Таким образом, при разработке технологии устройства утепленной металлической кровли возникает необходимость в разработке новых способов крепления кровельной системы, применение которых позволит снизить продолжительность, трудоемкость и стоимость работ.

Предлагаемый автором диссертации способ крепления термопанелей и стропил (металлических и деревянных) с использованием крепежных элементов заключается в следующем: крепление кровли со стропилами и утеплителем осуществляется с помощью дюбельной системы, как на деревянные стропила, так и стропила из стальных П-образных профилей или легких стальных конструкций (ЛСТК) [54].

Технология устройства кровли с помощью дюбельной системы предполагает постановку дюбелей в установочные отверстия в стропилах еще до поднятия на кровлю и монтаж предварительно собранных узлов, что снижает вероятность появления дефектов сборки (рисунок 61). Диаметр отверстия должен быть равен диаметру дюбеля, для обеспечения плотности соединения. Монтируемые элементы «термопанелей» на дюбельную систему устанавливают вручную.

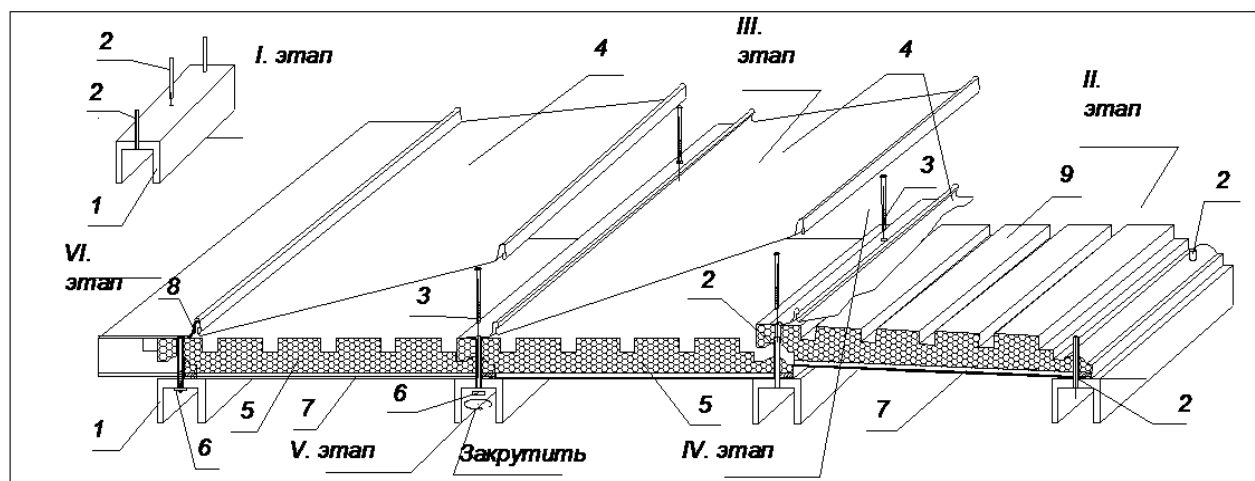


Рисунок 61 – Технологическая схема устройства фальцевой кровли на основе унифицированных быстросборных элементов:

- 1 – стропила; 2 – дюбель-распорка; 3 – крепежный элемент; 4 – кровельный лист; 5 – термопанель; 6 – гайка; 7 – каркас из фанеры; 8 – уплотнитель; 9 – ветро- влагозащитная мембрана

«Термопанели» при установке на стропила, соединяясь между собой, при наличии соединения смежных панелей в шип-паз или со смещением, создают горизонтальное сплошное покрытие, обеспечивая устойчивость основных стропильных конструкций и предотвращая неравномерный прогиб соседних плит утеплителя. Для безопасного передвижения по крыше рабочих при производстве кровельных работ с использованием металлических стропил, рекомендуется при угле наклона кровли меньше 45° устраивать стропильный шаг не более чем 900 мм [76]. Шаг дюбелей-распорок с крепежными элементами составляет 0,3 – 0,25 м. При использовании дюбельной системы крепления, жесткой заделки не требуется. Узлы крепления за счет дюбелей остаются подвижными на весь период эксплуатации, и служат не только условием жесткости и прочности конструкции, но и воспринимают часть усилий на сжатие.

На дюбеля со смонтированными «термопанелями», закрепляются металлические листы – 4, кромки которых подготовлены для фальцевого соединения. Дюбеля закрепляются крепежными элементами на деревянных стропилах - винтом, имеющим пластиковое покрытие головки, на металлических или легких стальных конструкциях (ЛСТК) - болтом с пластиковым покрытием головки или полиамидной втулкой с головкой в форме тарелки и шпилькой – 5. С внутренней стороны кровли крепежный элемент при установке на металлические стропила или стропила из ЛСТК, затягивается прижимной колпачковой полиамидной гайкой – 6. При этом дюбель-распорка регулирует усилие на сжатие [52; 53; 54].

Конструкция остается полностью герметичной, так как сверху накрывается следующим кровельным листом. Панели из стальных листов крепятся к крепежному элементу с помощью кляммер или установочных отверстий для скрытого крепления кровельной картины. Между собой кровельные картины крепятся на двойной стоячий фальц с уплотнителем или самозащелкивающийся фальц (рисунок 62).

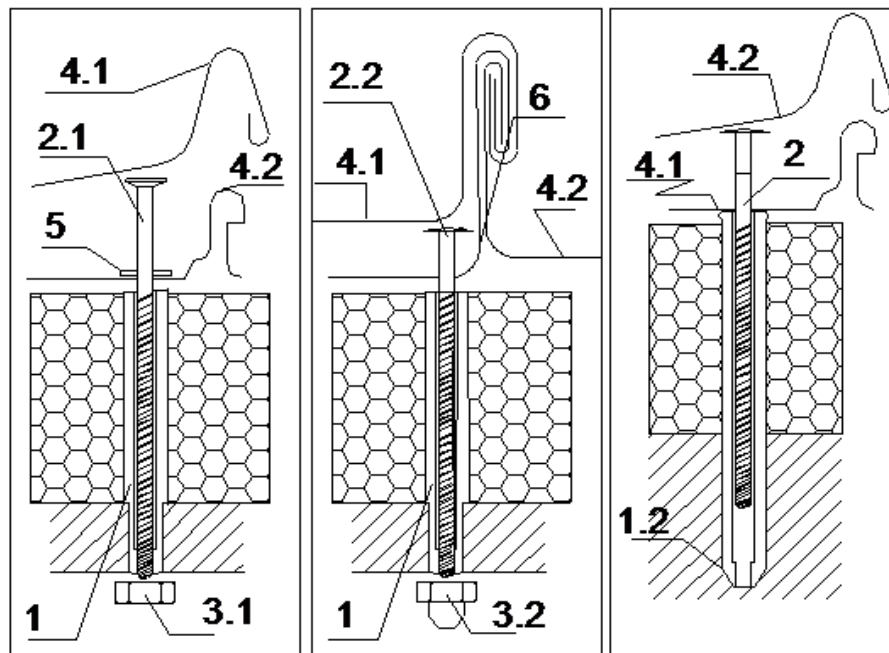


Рисунок 62 – Схема крепления утеплителя на металлические и деревянные стропила:

1 – дюбель; 2 – крепежный элемент с пластиковым покрытием головки; 2.1 – винт с потайной головкой Polyamid; 2.2 – винт или болт с пластиковым покрытием головки; 3.1 – гайка пластиковая шестигранная; 3.2 – гайка колпачковая пластиковая; 4 – листы металлической кровли; 5 – прокладка; 6 – кляммера

Для установки на металлические стропила и стропила из ЛСК, предотвращения возможности образования «мостиков холода» предложено использование полиамидного крепежа, стальных винтов с пластиковым покрытием головки или стальных шпилек с полиамидными втулками (в том числе и с металлическими вкладышами) и колпачковых гаек из гомополимеров и сополимеров, обладающих высокой термической устойчивостью и механической прочностью с рабочим перепадом температур от -50°C до $+160^{\circ}\text{C}$ (рисунок 63).



Рисунок 63– Полиамидная втулка

Ранее полиамидные крепежные элементы в качестве крепежных элементов фальцевой кровли не использовались. Преимуществами полиамидного

крепежного элемента по сравнению с крепежом из стали являются: отсутствие «мостиков холода», отсутствие коррозии, высокая химическая стойкость, в 8 – 10 раз легче стальных, долговечный от 30 до 50 лет, простота использования, возможность применять тот же инструмент, что и для стальных крепежных элементов, прилагая меньшие усилия, возможность соединения разных материалов (отсутствие окисления), что позволяет эффективно применять такой крепеж при устройстве металлических скатных кровель, в том числе из цветных металлов.

Предлагаемый способ крепления позволяет при расстоянии между стропилами до 900 мм отказаться от кляммерного крепления и реализуется за счет пластикового дюбеля-распорки и крепежного элемента.

Способ монтажа применим как для «холодных» кровель, так и для кровель с теплым чердаком, и позволяет осуществлять установку «термопанелей» на стропила без применения сварочного оборудования, существенно упрощая выполнение всего технологического процесса устройства кровли за счет применения дюбельной системы, повышающей бездефектность и скорость сборки конструкции.

3.2 Экспериментальные испытания установочных средств крепления (дюбелей)

Так как основным установочным узлом в предлагаемом автором способе является дюбель (средство крепления), при этом предполагается возможность временной установки крыши на дюбельную систему до ее последующего закрепления крепежными элементами, необходимо установить допустимые пределы прочности и несущую способность дюбелей, проведя испытания их на срез, как основной действующей нагрузки.

Определение требуемого диаметра дюбеля:

Напряжения, возникающие в болте на этом этапе учитываться не будут, так как отношение диаметра болта (крепежного элемента) к его длине несколько

больше чем у дюбеля, и крепежный элемент должен рассчитываться как гибкий стержень работающий на изгиб.

На основании СНиП II-25-80 и его Актуализированной редакции СП 64.13330.2011 [69; 78], дюбеля должны заглубляться в деревянные стропила не менее, чем на $5d$, расчетную несущую способность одного цилиндрического дюбеля на пару сплавляемых элементов при симметричном соединении вычисляется по формуле [69]:

$$T = 1,45d^2 + 0,02a^2 \leq T = 1,8d^2 \quad (36)$$

где a — толщина крайних более тонких элементов (см); d — диаметр дюбеля (см).

На основании данных табл. 9, максимальная поперечная сила $Q_{max} = \frac{3}{2} = 1,14 \text{ кН}$, с учетом коэффициента надежности $k_n = 1,2$. Принимаем расчетную несущую способность дюбеля T :

$$T = Q_{max} \cdot k_n = 1,368 \text{ кН}. \quad (37)$$

Исходя из этого требуемый диаметр дюбеля равен:

$$d = \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\frac{T - 0,02 \cdot a^2}{1,45}} = \sqrt{\frac{1,368 - 0,02 \cdot 10^2}{1,45}} = 0,7 \text{ см} \\ \leq \sqrt{\frac{T}{1,8}} = \sqrt{\frac{1,368}{1,8}} = 0,88 \text{ см} \end{array} \right\} \quad (38)$$

где $a = 10$ см; h — высота «термопанели» без учета высоты ребристой поверхности.

Диаметр дюбеля назначается из условия наиболее полного использования его несущей способности и последующего закрепления крепежным элементом в соответствие с сортаментом $d = 8 \text{ мм}$ и 10 мм . Для данного способа крепления использовались широко распространенные дюбеля марки «Mungo» и «Sormat» [80].

При проведении экспериментальных испытаний учитывались факторы, оказывающие наибольшее влияние на надежность дюбельного узла. Испытывались крепежные элементы различного диаметра на растяжение, срыв резьбы плоских и колпачковых стальных и полиамидных гаек и сравнение

результатов испытаний с несущей способностью металлического крепежа класса прочности 8.8.

Экспериментальные испытания дюбелей на сжатие и срез в условиях жесткого закрепления нижнего конца, проводились на разрывной машине *Instron* 5969 50 кН.

Для проведения испытаний крепежных элементов на срез автором была разработана конструкция узла, имитирующая установочные воздействия срезающих нагрузок на дюбель.

Брус, имитирующий стропило, жестко закреплялся с помощью уголков на двухколонной машине *Instron* 5969 50 кН с помощью болтов нижней опоры самого пресса. Дюбель плотно устанавливался в отверстие в деревянном бруске на глубину 50 мм, причем ось отверстия строго проходила по центру установки (рисунки 64, 65).

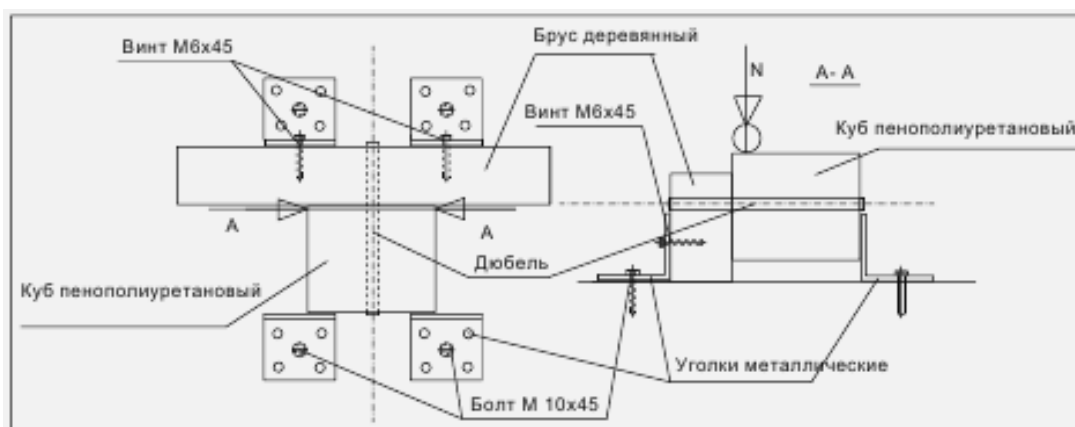


Рисунок 64 – Схема установки узла для испытаний на прессе разрывной машины Instron 5969 50 кН, стороны пенополиуретанового куба 100 x 100 x 100 мм

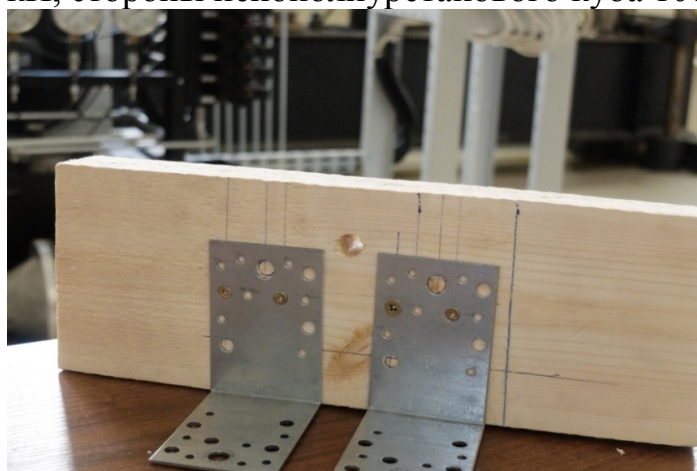


Рисунок 65 – Конструкция узла для испытаний дюбеля на срез

Для исключения перемещений и поворота закрепленного на дюбеле образца

из пенополиуретана устанавливались дополнительные подпорные уголки.

Нагрузка прикладывалась в виде прижимного валика, перпендикулярно плоскости соединения конструкций в узле, равными ступенями, с постоянной скоростью воздействия усилия сжатия в пределах $0,1 \pm 0,002$ Н/м.

Проведено по 6 испытаний дюбельных узлов, с использованием дюбелей диаметром 8 мм и 10 мм марки «Mungo» и «Sormat», причем в одном из пенополиуретановых образцов в установочное отверстие была установлена втулка (рисунок 66.).



Рисунок 66 – Испытания дюбельного узла на срез

На основании данных проведенных экспериментов построен объединенный график зависимости перемещений от нагрузки при испытании дюбелей на срез, представленный на рисунке 67.

Дюбеля с диаметром 8 мм не обладают достаточной несущей способностью. Нагрузка, воспринимаемая одним дюбелем с диаметром 8 мм, изменялась в пределах 364 – 390 Н/м, для дюбелей с диаметром в 10 мм в среднем составила 533 – 620 Н/м.

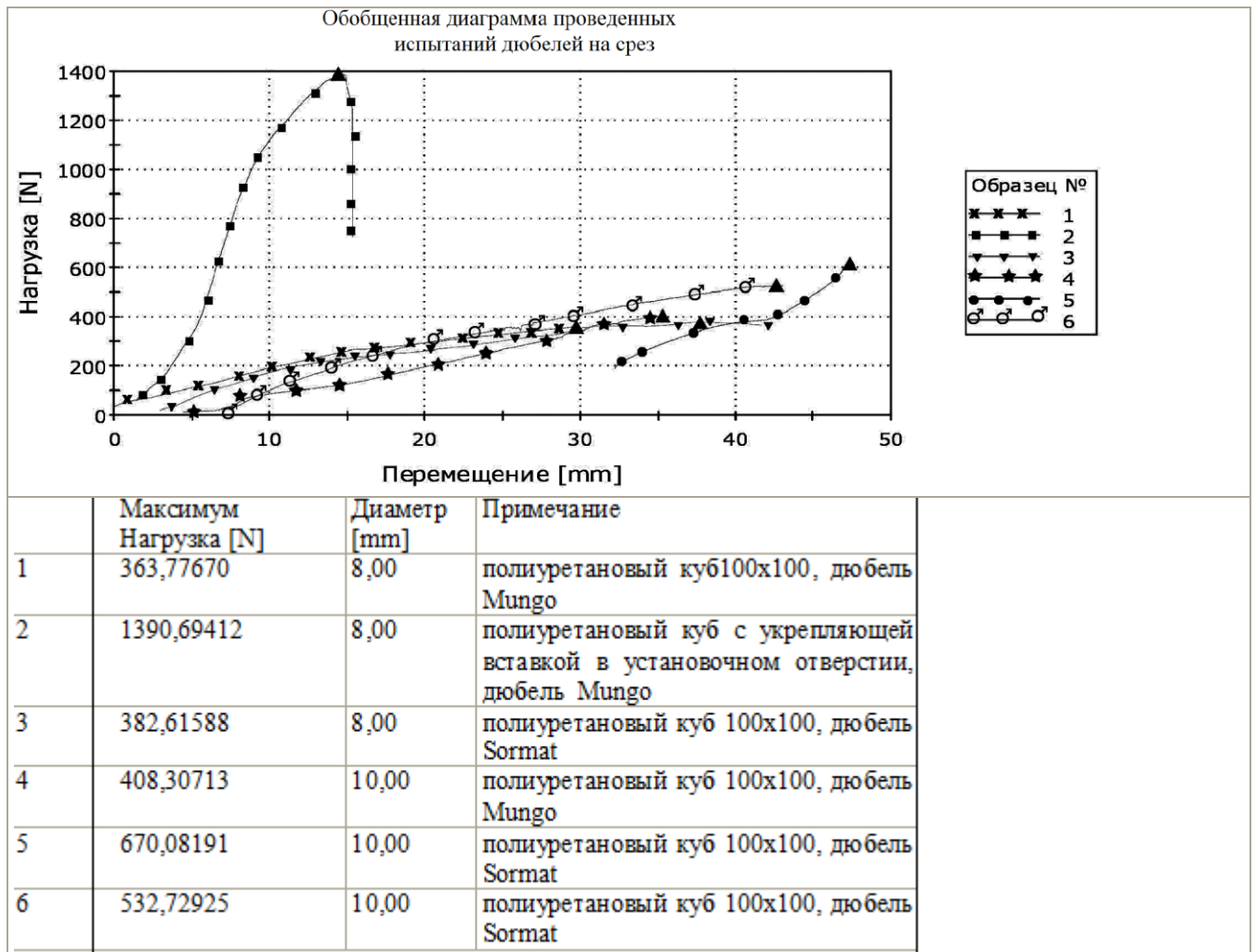


Рисунок 67 – Зависимость перемещений от нагрузки при испытании дюбеля на срез

На основании данных эксперимента можно сделать вывод, что недостаточность воспринимаемой нагрузки объясняется податливостью пенополиуретана смятию, так как пенополиуретан значительно мягче дюбеля, среза как такового не происходит, а происходит смятие пенополиуретана и изгиб дюбеля. Поэтому, такой срез можно назвать «условным», и возникает необходимость внесения поправок в конструкцию «термопанели» в виде втулок на установочных отверстиях. Был проведен опыт имитирующий наличие жесткого установочного отверстия. Как видно из графика зависимости перемещений от нагрузки при испытании дюбелей на срез, построенного на основании результатов эксперимента, укрепление установочного отверстия пенополиуретановой панели значительно увеличивает воспринимаемую нагрузку до 1390 Н/м.

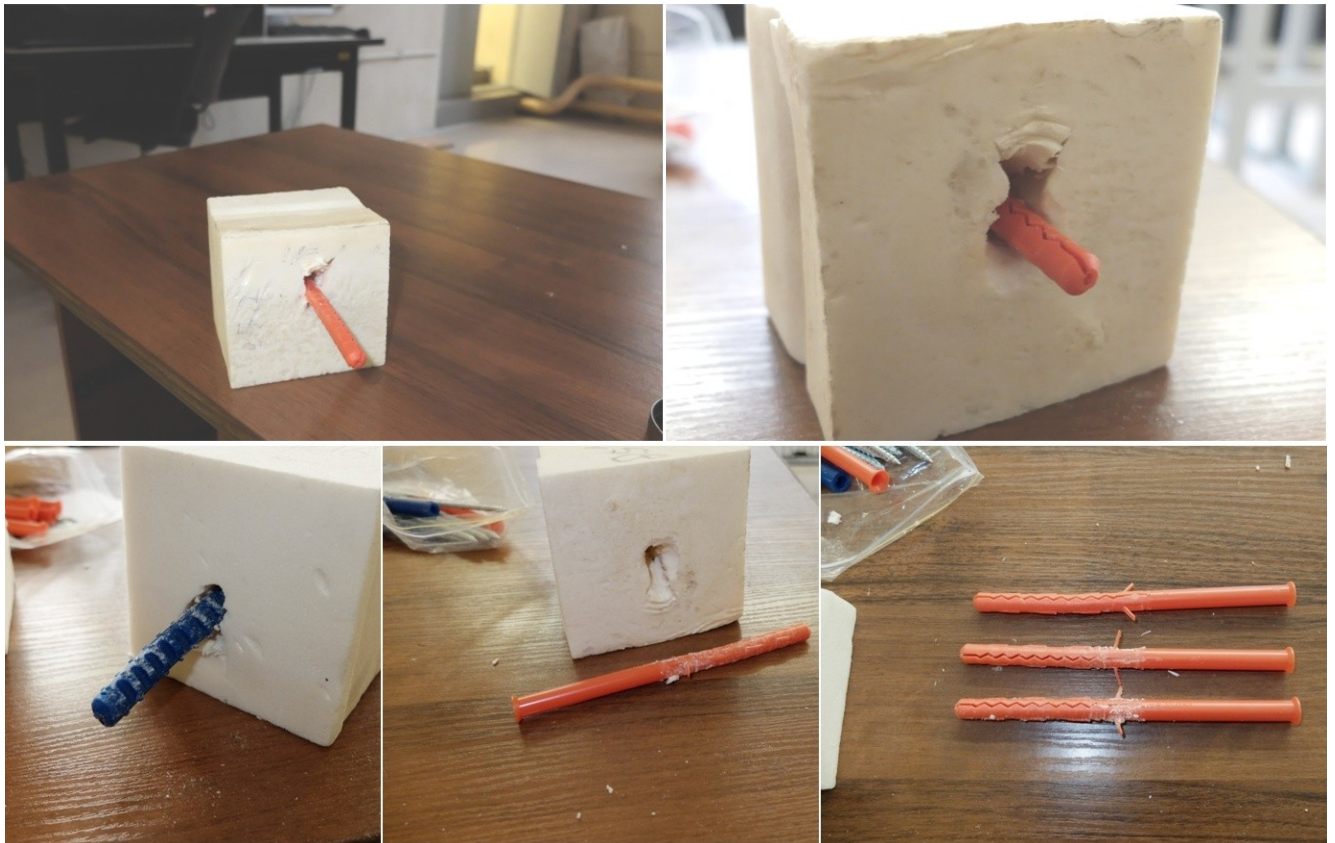


Рисунок 68 – Образцы дюбельных узлов и дюбеля после проведения испытаний на срез

В процессе эксперимента было зафиксировано первоначальное обмятие установочного отверстия пенополиуретановой панели, без видимой или с минимальной деформацией самих дюбелей. Остаточная деформация установочных отверстий пенополиуретановых панелей составила более 15 мм (рисунки 68, 69).



Рисунок 69 – Фиксация результата приложения срезающей нагрузки

Длина, используемых при испытаниях дюбелей значительно больше их диаметра, в связи с чем, они в большей степени работают как гибкие стержни.

Выбранный диаметр дюбеля равный 8 мм недостаточен и при установке «термопанелей» подвержен повреждению, на основании проведенных экспериментов для предлагаемого способа принимается дюбель диаметром 10 мм российской фирмы «Сармат» с наибольшей несущей способностью в 1390 Н/м= 1,39 кН/м.

При этом, расчетная нагрузка на один дюбель должна быть не меньше 0,9 кН, с учетом постоянной, снеговой и кратковременной нагрузок.

Для временного монтажа, учет снеговой нагрузки не требуется, так как монтаж без установки верхнего кровельного покрытия, по большей части происходит с весны по осень, а монтаж верхнего кровельного покрытия до начала заморозков. По этому, полученные результаты средней несущей способности дюбеля диаметром в 10 мм российской фирмы «Сармат» в 0,62 кН/м позволят использовать данные дюбели в разработанной технологии.

Для повышения надежности дюбельной системы монтажа, необходимо увеличить сопротивление пенополиуретана смятию в установочных отверстиях, под действием сжимающих усилий, тем самым снизить повреждаемость кромок установочных отверстий в быстромонтируемых элементах и увеличить не только последующее восприятие нагрузок узлового соединения, но и срок службы «термопанелей», создав возможность повторного использования быстросборного элемента «термопанели» за счет наличия полиамидных втулок.

Так как дюбель принимает на себя часть сжимающих усилий, действующих на пенополиуретановые «термопанели», были проведены экспериментальные испытания дюбелей российской фирмы «Sormat» диаметром 10 мм на статическую сжимающую нагрузку на машине *Instron 5969 50 кН* (рисунок 70).

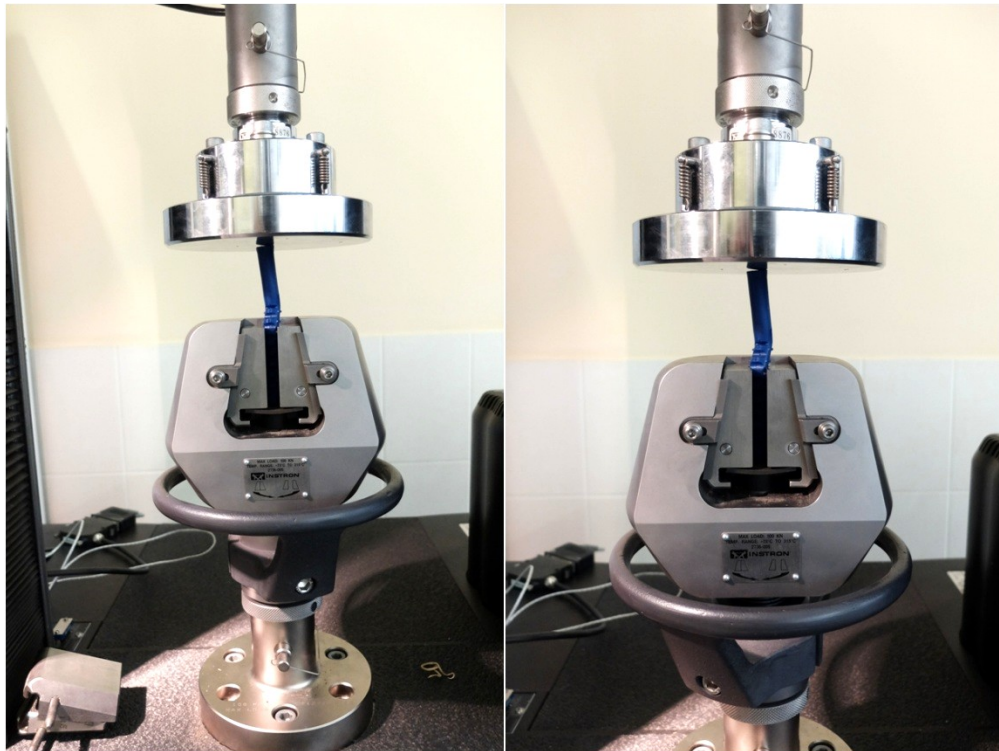


Рисунок 70 – Испытания статическую сжимающую нагрузку

На основании результатов экспериментальных испытаний дюбелей диаметром 10 мм на сжатие построен график зависимости деформации от сжимающей нагрузки на дюбеля (рисунок 71)



Рисунок 71 – График зависимости деформации от сжимающей нагрузки на дюбеля

Анализ полученных результатов свидетельствует о возможности и использования дюбельной системы крепления утепленной кровельной системы, даже с условием не укрепленного установочного отверстия «термопанелей» и развитием деформаций смятия в материале пенополиуретановой панели. Несущая способность дюбелей с диаметром 10 мм российской фирмы Sormat является достаточной.

Применение дюбельного способа крепления утепленной кровельной, предлагаемого автором диссертации, позволит существенно сократить продолжительность устройства кровли, снизить трудоемкость и стоимость монтажных работ, повысить производительность и эффективность их выполнения, бездефектность и надежность крепления, снизить вероятность повреждения кровельной системы от ветровой и снеговой нагрузок, увеличить срок службы кровли. Предложенный способ монтажа подтвержден патентом РФ № 2533463, приоритет от 19.04.2014 г.

3.3 Экспериментальные испытания стальных и полимерных(полиамидных) крепежных элементов

Экспериментальные испытания стальных и полиамидных крепежных элементов различного диаметра на растяжение, включая испытания на срыв резьбы плоских и колпачковых стальных и полиамидных гаек проводились с целью уточнения несущей способности полиамидного крепежа, максимальной разрушающей нагрузки, и решения вопроса о возможности применения полиамидного крепежа на основании расчетных данных и сравнения результатов испытаний с несущей способностью металлического крепежа класса прочности 8.8 [75].

Экспериментальные испытания проводились на разрывной машине *Instron5969* 50кН (рисунок 72).

На основании результатов испытаний построены графики зависимости перемещения от нагрузки на срез стальных и полиамидных плоских гаек, стальных колпачковых гаек и стальных и полиамидных колпачковых гаек,

установленных на стальные шпильки диаметром 6 и 8 мм с данными этих испытаний (рисунки 73, 74, 75).

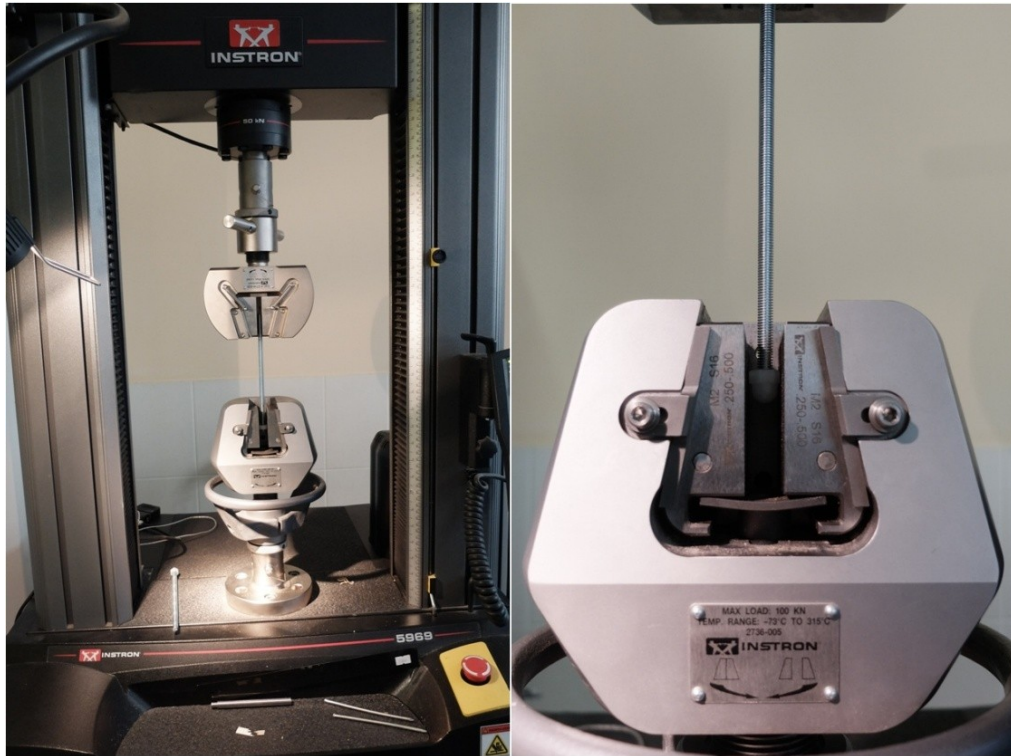
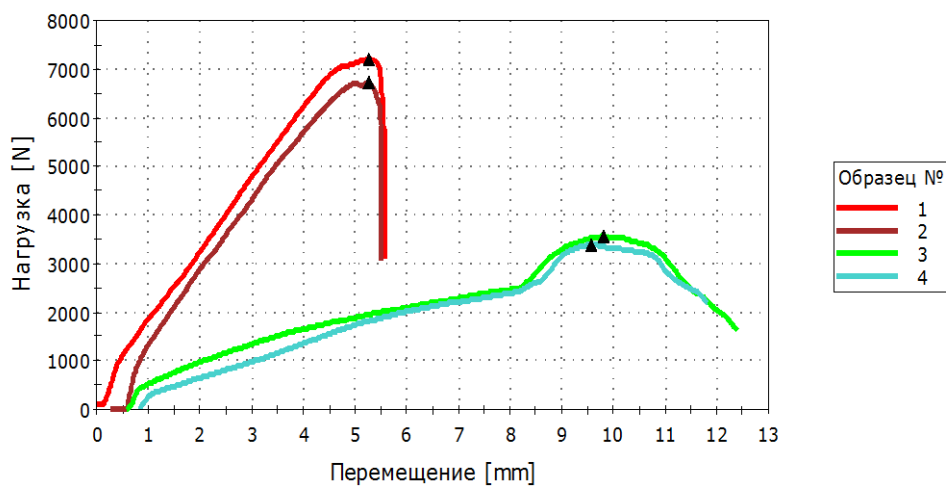


Рисунок 72 – Испытания полиамидной и стальной шпильки с колпачковыми полиамидными гайками

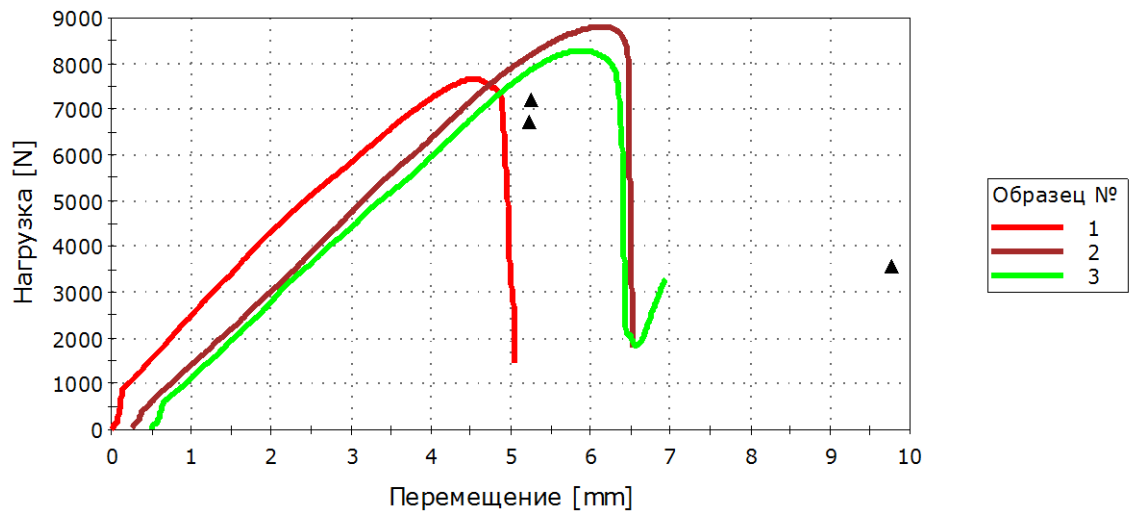
График сравнительных характеристик нагрузок стальных и полиамидовых плоских гаек



	Максимум Нагрузка[N]	Диаметр[mm]	Примечание
1	7198,50	8,00	гайка плоская металлическая
2	6725,95	8,00	гайка плоская металлическая
3	3553,78	8,00	гайка плоская полиамидная
4	3379,90	8,00	гайка плоская полиамидная

Рисунок 73 – Зависимость перемещения от нагрузки при испытании на срез стальных и полиамидных плоских гаек установленных на стальные шпильки диаметром 8 мм

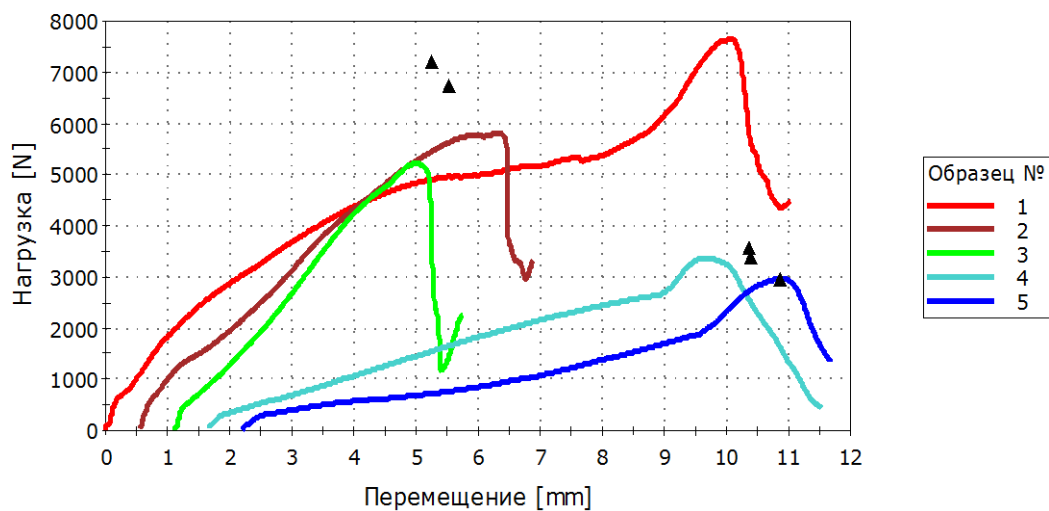
График сравнительных характеристик нагрузок стальных колпачковых гаек



	Максимум Нагрузка[N]	Диаметр [mm]	Примечание
1	7660,05	8,00	гайка колпачковая металлическая
2	8809,53	8,00	гайка колпачковая металлическая
3	8287,07	8,00	гайка колпачковая металлическая

Рисунок 74 – График зависимости перемещения от нагрузки на срез стальных колпачковых гаек, установленных на стальные шпильки диаметром 8мм

График сравн. характеристик нагрузок стальных и полиамидных колпачковых гаек



	Максимум Нагрузка[N]	Диаметр[mm]	Примечание
1	7643,59	6,00	гайка стальная
2	5807,62	6,00	гайка стальная
3	5226,59	6,00	гайка стальная
4	3369,55	6,00	гайка полиамидная
5	2960,46	6,00	гайка полиамидная

Рисунок 75 – График зависимости перемещений от нагрузки на срез стальных и полиамидных колпачковых гаек, установленных на стальные шпильки диаметром 6 мм

Проводились испытания полиамидных шпилек диаметром 8 мм с плоскими и колпачковыми гайками на растяжение, результаты которых представлены на рисунках 76, 77, 78.

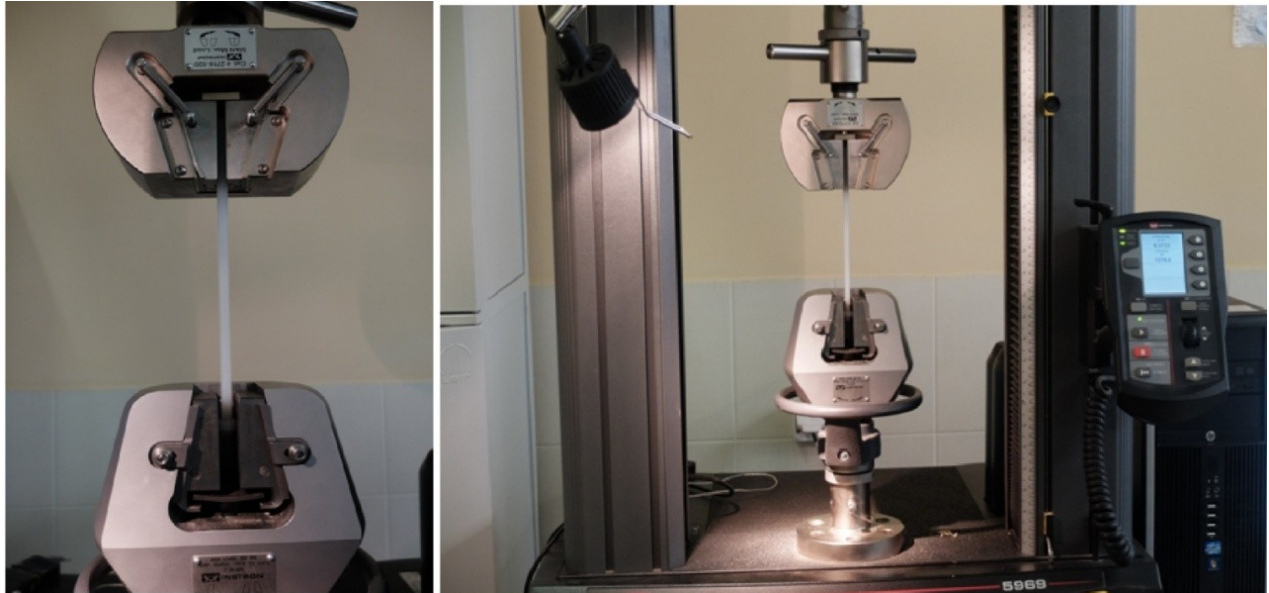


Рисунок 76 – Испытаний полиамидного крепежа на растяжение

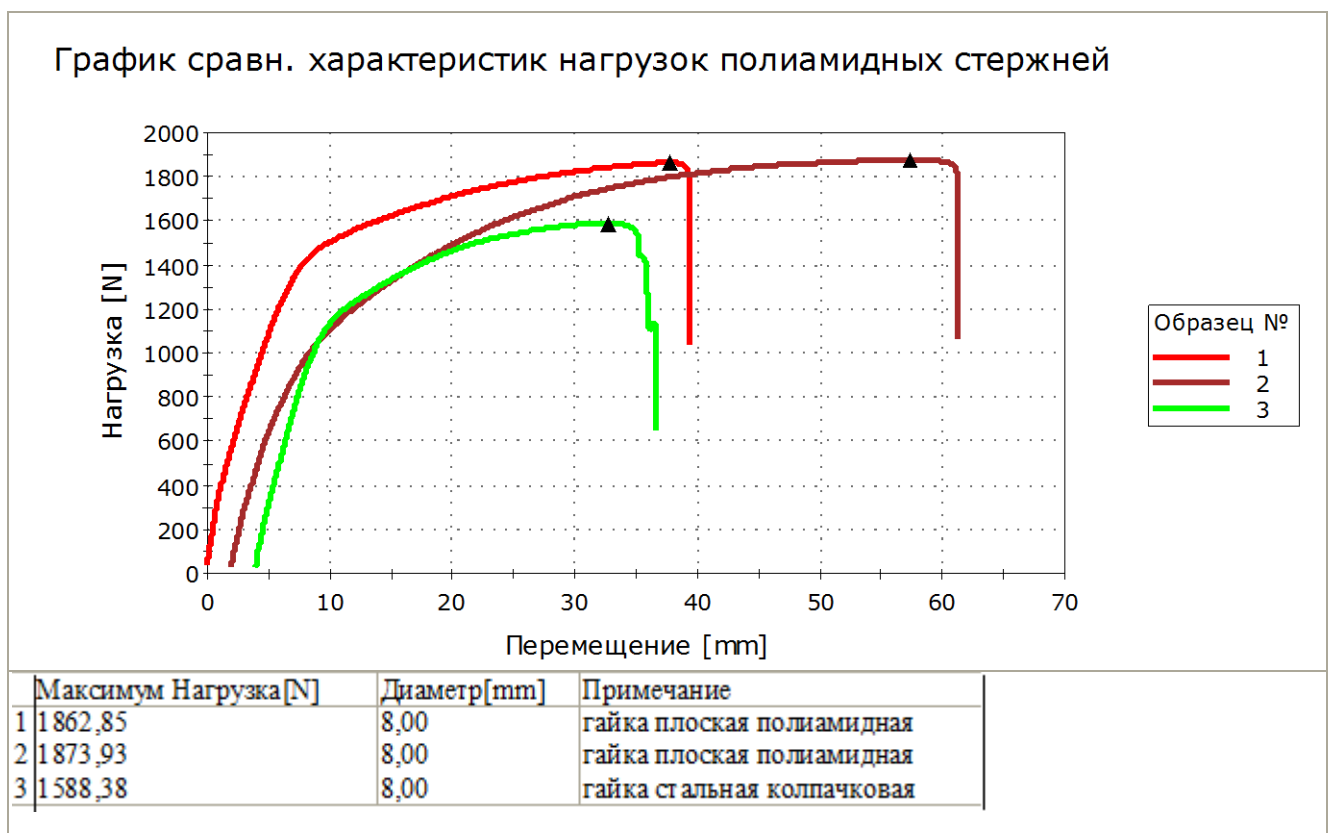


Рисунок 77 – Результаты испытаний полиамидных шпилек диаметром 8 мм с плоскими и колпачковыми гайками на растяжение



Рисунок 78 – Колпачковая полиамидная гайка со стальной шпилькой после проведения испытаний

Результаты испытания на разрыв стального и полиамидного крепежа представлены на рисунке 79.

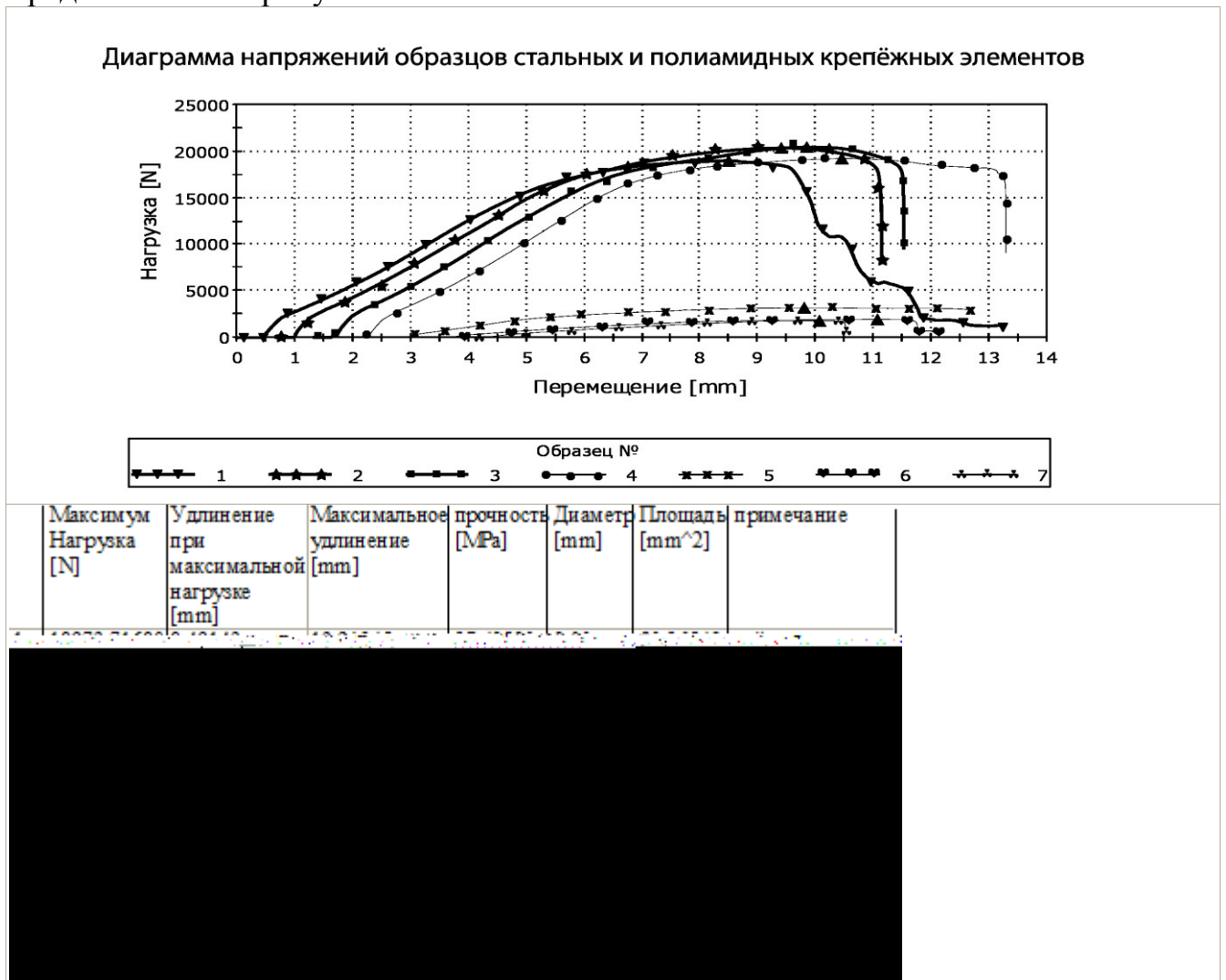


Рисунок 79 – Результаты испытаний в растягиваемых образцах стальных и полиамидных крепёжных элементов: 1 – образец из стали с прямой гайкой; 2 – образец из стали 8.8 с прямой гайкой; 3 – образец из стали 8.8 с колпачковой гайкой; 4 – образец из стали 8.8 с колпачковой гайкой; 5 – образец из стали 8.8 с полиамидной гайкой; 6 – полиамидный образец; 7 – полиамидный образец

Полученные экспериментальные значения испытаний уточнялись и сравнивались с требуемыми диаметрами применяемых крепежных элементов, на основании СП 64.13330.2011.

Из условия СП 64.13330.2011 [78] изгиб стального винта (болта) должен быть равен:

$$2,5d^2 + 0,01a^2; \text{ но не более } 4d^2 \quad (39)$$

где a - толщина крайних более тонких элементов (см); d - диаметр стального винта (болта), см.

Результаты экспериментов на срыв резьбы гаек, показали повышение несущей способности крепежного элемента закрепленного колпачковыми гайками на 18,6 % , по сравнению с плоскими гайками; при испытании стальных шпилек одинаковой длины и диаметра, из материала одинаковой прочности, при этом снижение несущей способности стального крепежного элемента с полиамидной гайкой, по отношению к элементу, закрепленному стальной гайкой составило 49 %. Результаты эксперимента показали максимальные удлинения полиамидных образцов – 6,54 мм, стальных – 13,2 мм.

Для надежной работы болтового (винтового) соединения необходимо обеспечить работу крепежного элемента в пределах предела текучести. Согласно СП 16.13330.2011, прочность болта равна [75]:

$$N_{bt} = R_{bt} \cdot A_{bn} \cdot \gamma_c \quad (40)$$

где N_{bt} - несущая способность одного болта на растяжение, R_{bt} – расчетное сопротивление одного болта на растяжение; A_{bn} - площадь поперечного сечения болта; $\gamma_c = 0,9$ – коэффициент условия работы согласно СП 16.13330.2011.

Выполненный расчет показал, что принятый диаметр стального крепежа равный 6 мм, полиамидного крепежа – 8 мм отвечает условиям прочности и устойчивости. Анализ данных полученных при проведении экспериментальных испытаний на растяжение полиамидных болтов выявил среднюю прочность полиамидного крепежа в 26,54 МПа при требуемой прочности 25,1 МПа, что делает возможным их использование в качестве крепежного элемента кровли.

Выводы по 3 главе

1. Разработан новый способ крепления кровли со стропилами и утеплителем с помощью дюбельной системы, как на деревянные стропила, так и стропила из стальных П-образных профилей или легких стальных конструкций (ЛСТК) (Патент 2533463, E04D 3/36)[54]. Технология устройства кровли с помощью дюбельной системы предполагает геометрическую точность сборно-разборных элементов и узлов, которые изготавливаются в заводских условиях, постановку дюбелей в установочные отверстия в стропилах еще до поднятия на кровлю и монтаж предварительно собранных узлов, что значительно упрощает технологию монтажа, снижает вероятность появления дефектов сборки, и увеличивает скорость монтажа.

2. Дюбельно - болтовое крепление позволяет при монтаже на металлические стропила не использовать сварочного оборудования, повышает надежность крепления, снижает вероятность повреждения кровельной системы от ветровой и снеговой нагрузок, способствуя увеличению срока службы кровель.

3. На основании проведенных расчетов и результатов выполненных экспериментальных испытаний для предлагаемого способа определен и принят требуемый диаметр дюбеля 10 мм российской фирмы «Сармат» с наибольшей несущей способностью в 1,39 кН/м.

4. Для установки на металлические стропила и стропила из ЛСК, предотвращения возможности образования «мостиков холода» предложено использование полиамидного крепежа, стальных винтов с пластиковым покрытием головки или стальных шпилек с полиамидными втулками (в том числе и с металлическими вкладышами) и колпачковых гаек из гомополимеров и сополимеров, обладающих высокой термической устойчивостью и механической прочностью с рабочим перепадом температур от -50°C до $+160^{\circ}\text{C}$. Ранее полиамидные крепежные элементы в качестве крепежных элементов фальцевой

кровли не использовались. Преимуществами полиамидного крепежного элемента по сравнению с крепежом из стали являются: отсутствие «мостиков холода», отсутствие коррозии, высокая химическая стойкость, в 8 – 10 раз легче стальных, долговечный от 30 до 50 лет, простота использования, возможность применять тот же инструмент, что и для стальных крепежных элементов, прилагая меньшие усилия, возможность соединения разных материалов (отсутствие окисления), что позволяет эффективно применять такой крепеж при устройстве металлических скатных кровель, в том числе из цветных металлов.

5. Анализ результатов экспериментальных исследований крепежных элементов различного диаметра на растяжение, срыв резьбы плоских и колпачковых стальных и полиамидных гаек с последующим сравнением результатов испытаний с несущей способностью металлического крепежа класса прочности 8.8, показал, что принятый диаметр стального крепежа равного 6 мм закрепленного колпачковыми полиамидными гайками и полиамидного крепежа равного 8 мм отвечает условиям прочности и устойчивости и подтвердил возможность применения полиамидного крепежа при устройстве и реконструкции вентилируемой фальцевой кровли из унифицированных быстросборных элементов.

6. Применение способа крепления термопанелей и стропил (металлических и деревянных) с использованием металлических и пластиковых (полиамидных) крепежных элементов, предложенного автором диссертации, позволит существенно сократить продолжительность устройства кровли, снизить трудоемкость и стоимость монтажных работ, повысить производительность и эффективность их выполнения, бездефектность и надежность крепления, снизить вероятность повреждения кровельной системы от ветровой и снеговой нагрузок, увеличить срок службы кровли.

ГЛАВА 4. ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА И РЕКОНСТРУКЦИИ ВЕНТИЛИРУЕМОЙ ФАЛЬЦЕВОЙ КРОВЛИ ИЗ УНИФИЦИРОВАННЫХ БЫСТРОСБОРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

4.1 Производственная проверка предлагаемой технологии устройства вентилируемой фальцевой кровли в условиях стройплощадки

Производственная проверка предлагаемой автором технологии проводилась в условиях стройплощадки на строительной базе в Парголово и городе Луга, Ленинградской области, в результате которой подтверждено, что использование унифицированных быстросборных элементов («термопанелей») и применение дюбельной системы для крепления кровли позволяют перенести часть технологических операций в заводские условия (изготовление «термопанелей», стропил с пробивкой установочных отверстий и пропиткой их защитными составами).

Основным процессом в предложенной автором технологии является процесс «сухой» установки «термопанелей» заводского изготовления на стропила с применением соединений на основе дюбелей и установкой кровельного гидроизолирующего покрытия.

Вспомогательными процессами разработанной технологии являются подготовительные, включающие подачу, перестановку материалов и оборудования, контроль качества.

Перед началом устройства кровли должны быть полностью завершены монтажные работы по возведению надземной части здания.

В заводских условиях изготавливаются комплектующие кровли, «термопанели», имеющие установочные отверстия на своих боковых поверхностях, стропила с пробивкой установочных отверстий, пропитка стропил и деревянных конструкций защитными составами для повышения огнестойкости.

На металлические конструкции и стропила наносится вспучивающееся покрытие на основе жидкого стекла, термически расширяющегося графита и коллоидного кремнезёма, деревянные конструкции – огнезащитный состав типа Латик КД, ВАНН-1 или антипирены «ПП», «МС» и «МС 1:1». Затем выполняется предварительная укрупнительная сборка, подгон к проектным размерам и маркировка стропил, лежней, растяжек, используемых для жесткости конструкции, коньковых прогонов, мауэрлатов с разбивкой проектного положения стропильных ног, выверка высоты стоек. Подготовленный комплект материалов, инструмент и необходимое оборудование доставляются на стройплощадку, с последующим подъемом на кровлю с запасом комплектующих на смену.

Последовательность выполнения операций в предлагаемой автором технологии устройства фальцевой кровли из унифицированных быстросборных элементов следующая:

- проверка подготовительных работ, горизонтальности мест примыкания, проверка страховочных средств и средств защиты, обеспечения персонала индивидуальными средствами защиты (каска, спецодежда, страховочные пояса, соответствующая обувь (не скользила), проводится инструктаж по технике безопасности и пожарной безопасности, с обязательным акт – допуском по технике безопасности под роспись, который составляется перед каждой рабочей сменой;

- постановка дюбелей в стропила перед подъемом стропил на кровлю;

- установка мауэрлатов, затяжек и лежней с последующим креплением стоек и закреплением коньковых прогонов на стойках, монтаж стоек и прогонов начинают с расчетом необходимого времени и продолжают до того момента, пока все элементы не будут закреплены;

- строповка и подъем на кровлю стропил. Крепление стропильных ног к мауэрлату и коньковому прогону, производят «маячковым» способом – вначале

устанавливаются крайние стропила, а затем промежуточные, с одинаковым шагом, по заранее отмеченным меткам;

- строповка, подъем на кровлю и монтаж «термопанелей», имеющих боковые и продольные соединения типа шип-паз или со смещением, для обеспечения изоляционного слоя (предотвращение образования «мостиков холода») (рисунок 80);

- обустройство карнизных свесов и наружного водостока. Изготовление кровельных картин с одновременным присоединением антиконденсатного покрытия на кровельных станках;

- установка кляммеров на дюбельную систему и закрепление конструкции с «термопанелями» на стропилах крепежными элементами (при расстоянии между стропилами менее 900 мм, допускается безкляммерное крепление фальцевого листа с помощью крепежной ленты);



Рисунок 80 – Монтаж «термопанелей» на предварительно установленную дюбельную систему

- закрытие фальцевого соединения с помощью механических фальцевзакаточных устройств (рисунок 81) или универсальных фальцевзакаточных машинок для закрытия за один проход Г-образного или двойного стоячего фальца. Кровельные листы соединяются между собой на двойной стоячий фальц или самозащелкивающийся фальц (см. рисунок 2). Обустройство коньковых узлов.



Рисунок 81 – Дозаккрытие фальцев рамками второго прохода

При перерыве в работе, все незакрепленные элементы или инструменты должны быть убраны с кровли или закреплены.

Здание разбирается на захватки, которые в свою очередь делятся на монтажные и рабочие участки, на каждом из которых выполняется только один вид работ.

Необходимый количественный состав бригады определялся с учетом трудоемкости каждого процесса, наиболее рационального совмещения профессий и разрядов рабочего состава в бригаде, необходимых для качественного выполнения работ в строгой технологической последовательности и с возможностью предоставления фронта для последующих работ в минимальные сроки [1; 2; 6; 7; 8; 33; 34; 35; 61].

Укладка «термопанелей» ведется по захваткам, слева направо и от свеса к коньку, устанавливая первую «термопанель» в крайний нижний левый угол с перекрытием вышележащими листами нижележащих и верхними рядами нижних.

Установка кровельного покрытия начинается с подшивки свеса правого угла здания, по направлению влево от правого угла, от конька к свесу, что позволяет кровельщикам из 2-х звеньев работать одновременно на нескольких захватках с шагом потока смежных звеньев по времени 15 мин. Это обеспечивает каждому звену необходимый фронт работ, а технологические перерывы между

операциями на соседних захватках сводить к минимуму (рисунок 82).

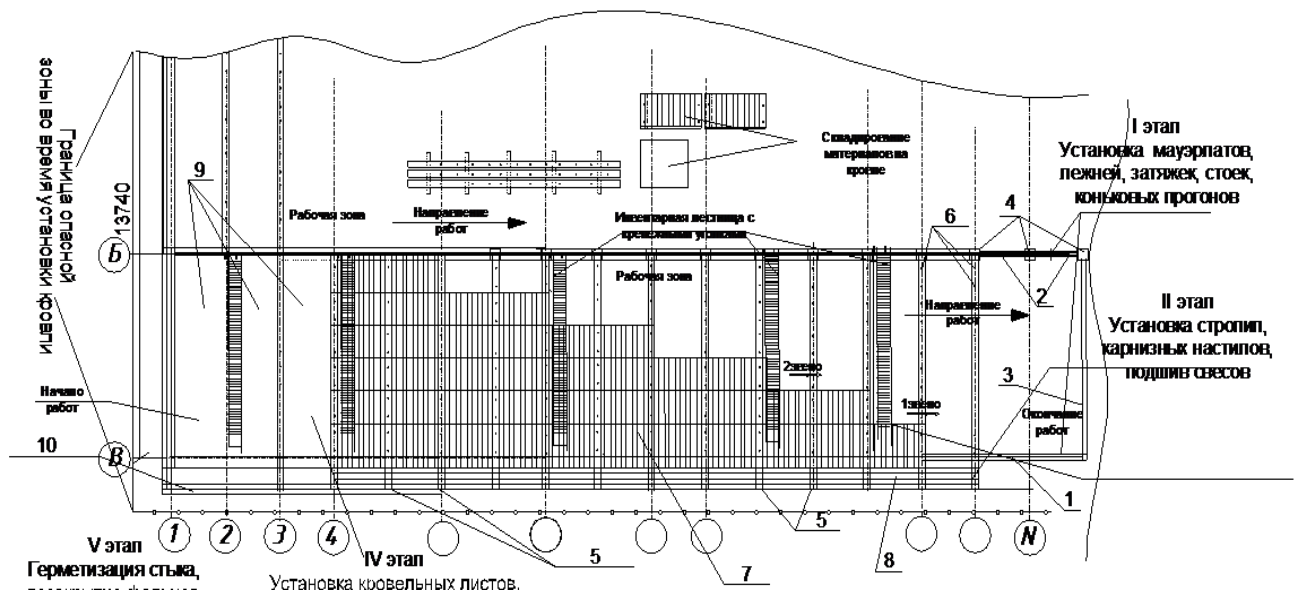


Рисунок 82 – Технология монтажа вентилируемой фальцевой кровли из унифицированных быстросборных элементов, с определением основных этапов монтажа: 1 – мауэрлаты; 2 – лежни; 3 – затяжки; 4 – стойки; 5 – стропила; 6 – дюбеля; 7 – «термопанель»; 8 – подшив свеса; 9 – кровельные листы рядового покрытия; 10 – картина настенного желоба

Отсутствие необходимости проведения выверочных и сварочных работ в условиях работы на высоте, отсутствие соединения узлов «в слепую», позволяет эффективно вести монтаж «термопанелей» и кровельного покрытия с высокой точностью звеном из 3-х кровельщиков, при этом два рабочих заняты подачей материалов.

При возведении большепролетных зданий, ангаров имеющих большую длину ската, поэлементный монтаж достаточно сложен и требует устройства дополнительных страховочных и крепежных устройств. В отличие от технологии монтажа «сэндвич-панелей», разработанная технология монтажа «термопанелей» «раскаткой» позволяет вести монтаж на всю длину ската, не используя сложное крановое оборудование и крепежные устройства, при этом сохраняя все преимущества рулонной кровли.

При монтаже кровель в большепролетных зданиях, эта технология дает возможность поэтапного введения объекта и позволяет временное использование «термопанелей» в качестве временной кровли.

Суть технологии монтажа «термопанелей» «раскаткой», предложенной автором диссертации, заключается в том, что «термопанель» собирается на полную длину ската (рисунки 83 – 85), внутри которой находятся пластиковые трубки, через которые протянуты резиновые шнуры из нескольких прочных жил с прочной внешней оплеткой для придания большей плотности, что не только упрощает разворачивание конструкции и сборочный процесс, но и способствуют гашению возникающих колебаний и повышению несущей способности конструкции.

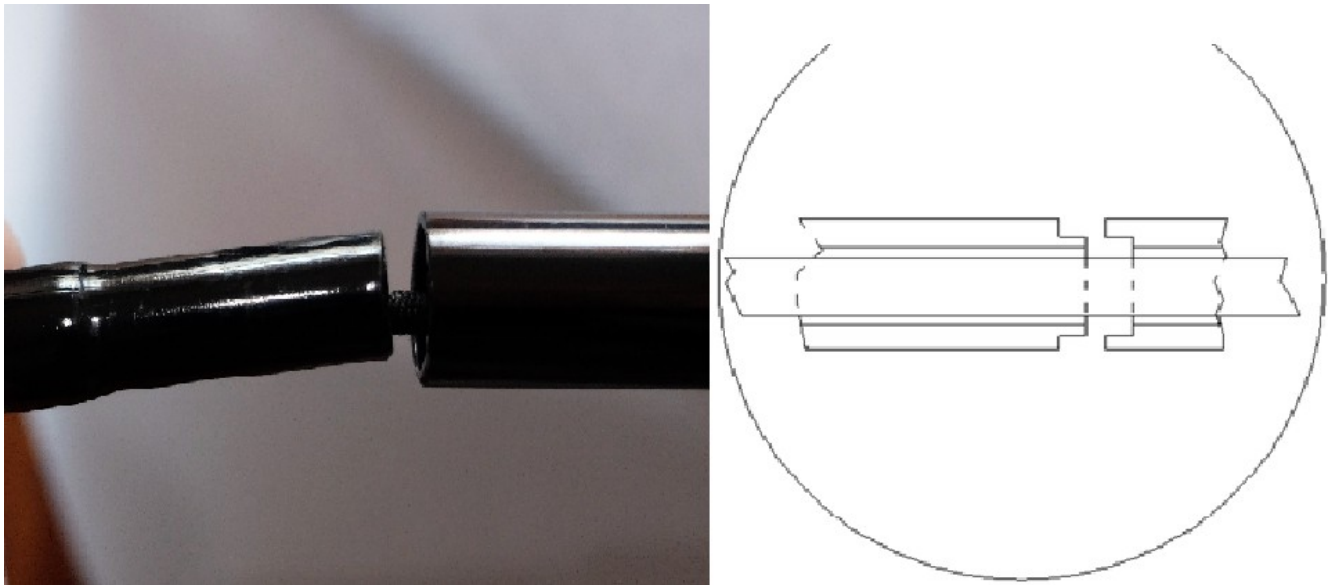


Рисунок 83 – Узел соединения внутренних трубок термопанелей

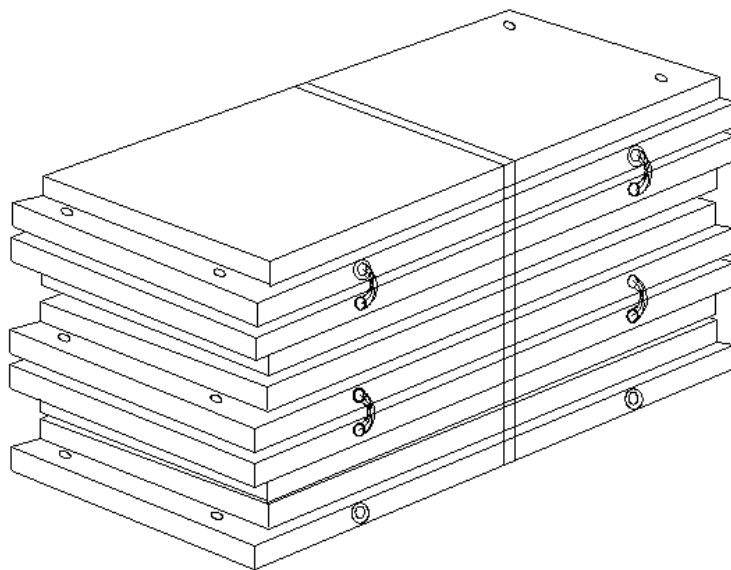


Рисунок 84 – Панель в собранном виде, схематичное изображение

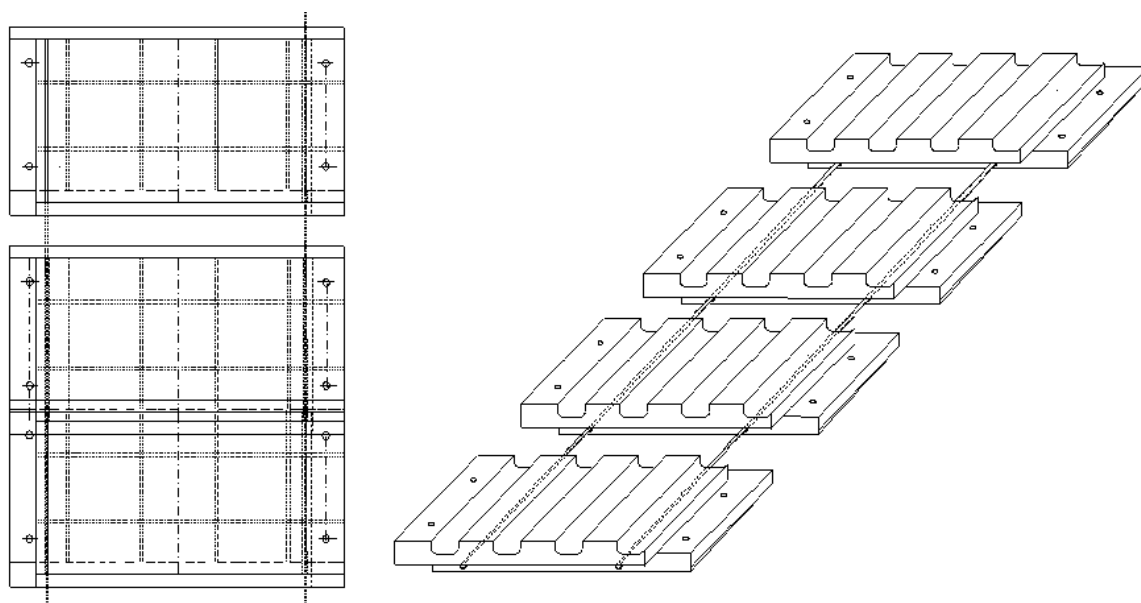


Рисунок 85 – Схема растянутых на резинках термопанелей перед соединением (без прорисовки ребристого покрытия и под углом 45°). Пунктиром показан внутренний каркас, из пересекающихся поперечных и продольных ребер

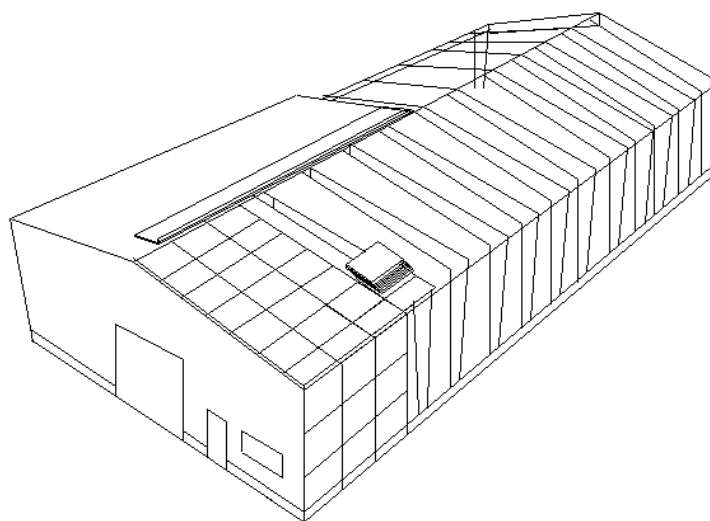


Рисунок 86 – Схема «раскатки» «термопанелей» по скату ангара (без прорисовки ребристого покрытия)

«Термопанели» в собранном виде на всю длину ската поднимаются на кровлю (см. рисунки 84 – 86) и раскладываются от карниза к коньку. В этом случае для монтажа первой «термопанели» дюбельное крепление устанавливается в установочные отверстия ближе к карнизу, а последующие – по мере «раскатки», и только после этого в установочные отверстия устанавливаются крепежные элементы (рисунок 87) .

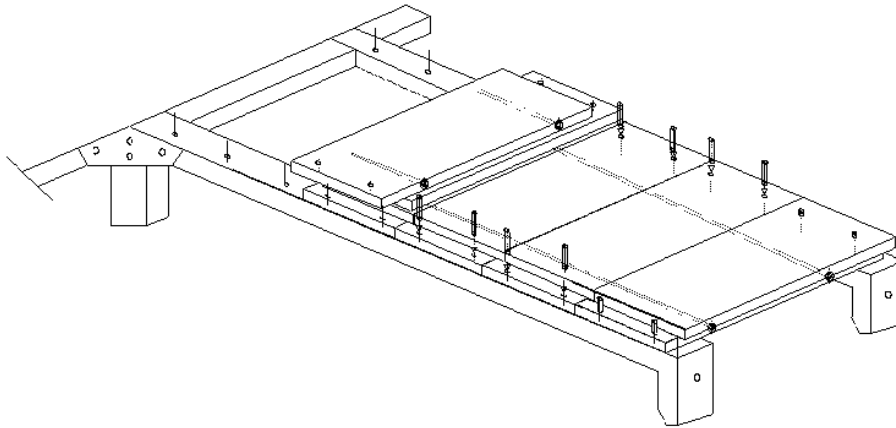


Рисунок 87 – Схема «раскатки» «термопанелей» (без прорисовки ребристого покрытия)

Профили из ЛСТК (легких стальных конструкций), используемые и как стойки и как стропила при возведении ангаров и ангаров-холодильников не позволяют выполнения сварочных работ, а предложенный автором способ крепления «термопанели» к стропилам с помощью дюбельной системы их полностью исключает.

Так как профили из ЛСТК сами по себе могут являться «мостиками холода», что очень не желательно в холодильной установке, монтаж возможен с последующей подшивкой внутренней стороны стропильной системы кровли плоскими «термопанелями» и образованием дополнительной внутренней воздушной прослойкой.

В стропила заранее устанавливаются дюбельные крепления, на которые монтируются «термопанели». При двухстороннем креплении, для наружной стороны используются ребристые «термопанели», на которые сверху монтируется металлическая фальцевая кровля, нижний лист которой закрепляется крепежным элементом, а сверху защелкивается защелкой следующего листа.

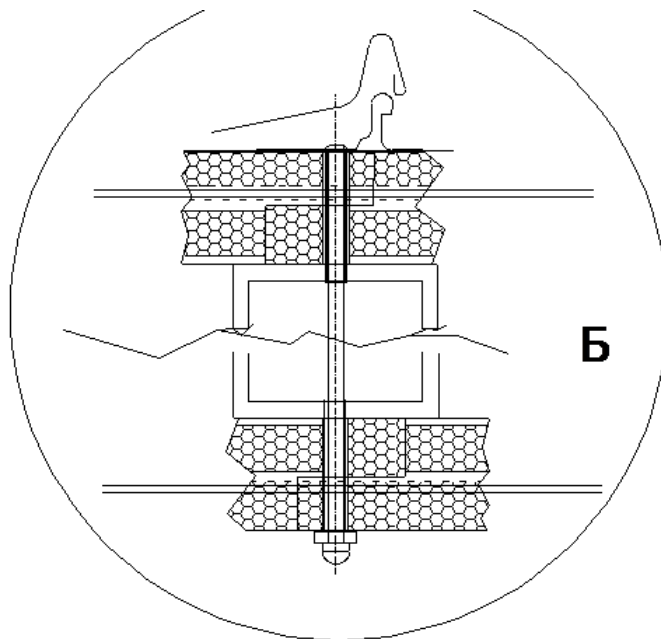


Рисунок 88 – Узел соединения кровельной «термопанели» со стропилами и нижней подшивкой

Внутренняя сторона крепежного элемента, закрепляется колпачковой полиамидной гайкой (рисунок 88).

На стадии подготовки к началу работ по устройству кровли разрабатывается стройгенплан, в котором необходимо указать места складирования и хранения строительных материалов подъездные пути, опасную зону с запрещающими знаками.

При общей длине здания, позволяющей разбить его больше, чем на 2 захватки, при условии соблюдения безопасного проведения работ, одновременно возможно использование двух лебедочных кранов с противоположных сторон, и вести монтаж по направлению навстречу друг другу (рисунок 89).

Для обеспечения безопасной работы кровельщиков необходимо устроить ограждение, ходовые мостики и натянуть дополнительные ограждающие страховочные сетки. Для рабочих предусмотреть необходимые временные сооружения, в том числе и бытовки для приема пищи, и выполнения гигиенических потребностей и обеспечить рабочих необходимыми защитными средствами, страховочными поясами с прочной веревкой (тросом), касками, а для уменьшения скольжения ног кровельщики - обувью на резиновой подошве [33 – 35].

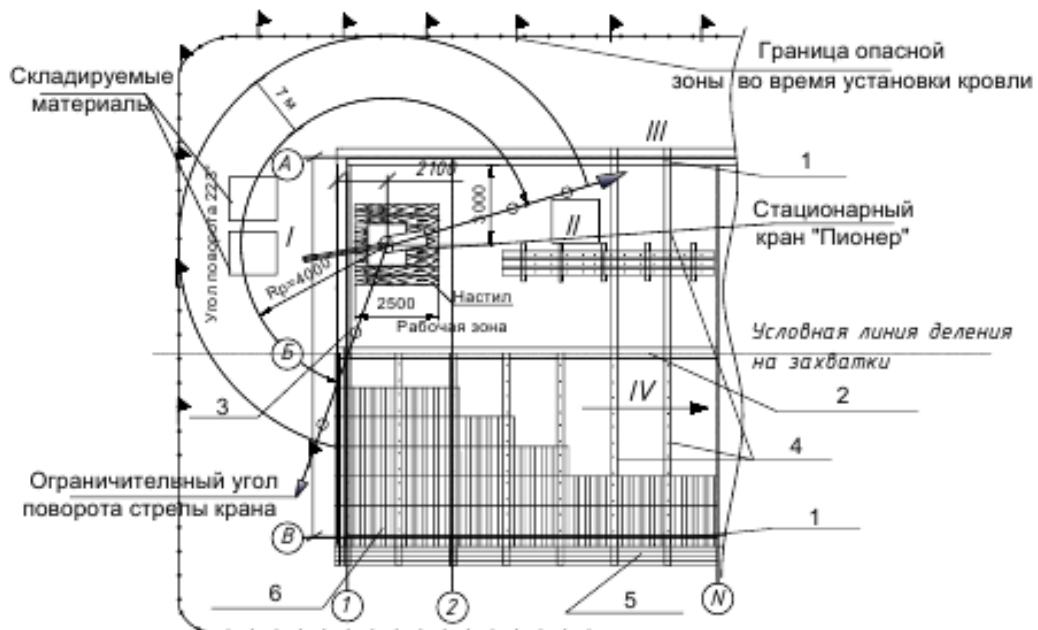


Рисунок 89 – Последовательность монтажа "термопанелей" (работа крана должна быть завершена до начала установки «термопанелей»):
 I – подъем материалов на монтажный горизонт; II – складирование стропил, панелей, и крепежных элементов; III-установка мауэрлатов, затяжек, лежней, стоек и стропил в проектное положение; IV –установка «термопанелей»;
 1 – мауэрлат, 2 –коньковый прогон, 3– затяжка, 4 – стропила, 5 – подшивка свеса, 6 – «термопанели»

Перед началом работ необходимо провести инструктаж по технике безопасности, под роспись в специальном журнале инструктажа [59; 62].

В результате проведения производственных исследований автором апробирована новая технология устройства фальцевой кровли из быстросборных элементов в условиях стройплощадки с отработкой оптимальной технологической последовательностью устройства кровли из унифицированных быстросборных элементов, преимуществами которой по сравнению с традиционными технологиями являются:

- изготовление, сборка и маркировка унифицированных элементов и узлов выполняются в заводских условиях, что значительно упрощает, повышает скорость и бездефектность монтажа;
- применение болтовых соединений, позволяет в случае необходимости конструкцию можно разбирать и использовать повторно,
- не требуется усиления ниже расположенных элементов каркаса здания;

- компактность панелей в разобранном виде, малый вес собранной конструкции;
- не требуется дополнительного монтажного оборудования и профессиональных рабочих-монтажников,
- при возведении сборно-разборных ангаров в короткие сроки и, как правило, в сложных климатических условиях, панели могут собираться в общее полотно на всю длину ската (или беспроемную часть стены);
- сокращение трудозатрат и продолжительности устройства кровли, повышение качества работ и снижение стоимости производства работ.

4.2 Пооперационный хронометраж технологических процессов устройства вентилируемой кровли из унифицированных быстросборных элементов

Пооперационный хронометраж технологического процесса устройства вентилируемой кровли из унифицированных быстросборных элементов (термопанелей), в котором соединение утеплителя и стропил (металлических и деревянных) осуществляется с использованием крепежных металлических и пластиковых (полиамидных) элементов проводился с целью обоснования технологических параметров: норм времени, затрат труда, продолжительности, а также определения необходимого количества рабочих, материалов, оборудования и уточнения очередности выполнения основных и вспомогательных операций.

В технологических операциях предлагаемой технологии не задействованы машины, норма времени разрабатывалась только для кровельщиков. Установка дюбелей и монтаж «термопанелей» можно условно отнести к циклическим операциям.

Для определения нормы времени необходимой для выполнения операций по установке дюбелей в стропила и монтажа «термопанелей» был осуществлен хронометраж, в котором фиксировалось время с точностью до 1 сек., затрачиваемое на подъем и подачу строительных материалов к месту монтажа, на необходимые движения наклонов, приседаний и переходов к следующей точке,

при установке дюбелей, движении рук, корпуса при взятии элемента «термопанели» с подмостей, перемещении его с «термопанелью», повороты, переносы и наклоны, необходимые при монтаже, а также неоправданные движения, влияющие на потерю рабочего времени, ухудшающие ритм работы [1; 117].

Учет времени и количества движений проводился двумя работниками параллельно, один учитывал количество движений электронным счетчиком, второй производил учет времени электронным секундомером «Casio HS-70W-1DF» (Япония) с точностью 1/1000 секунды, памятью до 200 результатов и возможностью определения лучшего и худшего времени. В получаемых данных учитывались средние значения фиксированных результатов движения ведущего рабочего, с учетом необходимого численного количества рабочих низшего разряда и требуемой их квалификации.

Наблюдения велись аритмичным методом, в первых 20 результатах установки дюбелей и 10 циклах установки «термопанелей» фиксировалось только первое движение и т. д.

В результате проведенного эксперимента, было подсчитано число установленных элементов за 1 час работы. Все технологические операции разрабатывались с учетом требований по охране труда и технике безопасности, проведения инструктажа и определения рабочих мест, мест складирования и опасных зон. Результаты записывались в таблицу смешанного фотоучета (ФС), с внесением всех элементов наблюдаемого процесса в течение одного часа, рассчитанной по 30 секунд. Для удобства чтения таблиц на график были нанесены только первые 9 циклов. Действия рабочих низшего разряда не документировались. При проведении хронометража рабочими использовались рациональные подручные средства, способствующие увеличению производительности труда, типа «фартука -корабейника», в патронташном кармане которого находилось не менее 30 дюбелей или поясная сумка с дюбелями (таблицы 20, 21).

Таблица 20 - Выборочные данные индивидуальных наблюдений за работающим, выполняющим установку дюбелей без закрепления

Элементы операции		Начало хронометража10:00																														Окончание хронометража11:00																														Сумма затрат	
		от 30 до 3600 сек.(цена деления 30сек)																																																													
																																																														На 20 эл, сек	На весю оп сек
Укладка дюбелей из коробки в фартук	1) присесть																																																													3,4	51
	2) набрать дюбель из коробки и установить в фартук																																																													33,12	496,8
	1) подход к стропилам, присесть, взять дюбель																																																													28,12	421,8
	2)вставить дюбель в заранее просверлен. установочное отверстие в стропилах																																																													26,6	399
	3) взять кувалду с резиновым набалдашником , прихлопнуть дюбель для жесткого закрепления																																																													62,7	940,5
	4) привстать, передвинуться к следующей точке установки																																																													24	360
	После 20 забитых дюбелей передышка																																																													60	900
		Хронометраж времени на 20 установленных дюбелей																														Итого на 1 цикл:																														238	3569,1
		Общее установленное число дюбелей 300 штук																														Итого в минутах на 1 цикл																														4,0	
		С целью облегчения чтения таблицы, нанесены только первые циклы установки																														Итого на 15 циклов в минутах:																															59,5

Таблица 21- Выборочные данные нормативных индивидуальных наблюдений за работающим, выполняющим монтаж «термопанелей»

№ п/ п	Элементы операции	Таблица 21. Вводятся данные нормативных индивидуальных норм времени за расстановку, выноса элементов «термопанелей»																														Сумма затрат	
		Начало хронометража11:00															Окончание хронометража12:00																
		от 30 до 3600 сек.(цена деления 30сек)																														На 10 эл, сек	На в-с оп-ю сек
	Подойти к месту складирования																															60,2 8	723,3 6
	Наклониться, и взять «термопанель»																															28,0 2	336,2 4
	Повернуться																															26,8	321,6
	Приблизится к месту монтажа																															56,2	674,4
	Установить «термопанель» за счет установочных отверстий на смонтированных дубелях																															56,9 4	683,2 8
	После 10 установленных «термопанелей» передышка																															80	960
		Хронометраж времени на 10 установленных «термопанелей»															Итого на 1 цикл:															288, 24	3698, 9
		Общее установленное число дубелей 120 штук															Итого в минутах на 1 цикл															4,8	
		С целью облегчения чтения таблицы, нанесены только первые циклы установки															Итого на 12 циклов в минутах:																61,7

В результате проведенного пооперационного хронометража были получены следующие данные: затраты времени на установку 20 дюбелей – 4,0 мин., на монтаж 10 «термопанелей» – 4,8 мин. Фактически зафиксированная часовая производительность за время проведения хронометражных наблюдений с 10:00 – 11:00 час., при установке дюбелей составила 300 дюбелей за час и, соответственно, с 11:00 –12:00 было установлено 120 «термопанелей».

Расчет нормы времени на установку дюбелей и 100 м² «термопанелей» производится с учетом следующих требований: приняв во внимание повышение коэффициента полезного действия в утренние часы, и кратковременность проведения эксперимента, полученные результаты умножались, на так называемый, коэффициент неоправданных движений или коэффициент приведения по фактору времени [1; 58].

По формуле упрощенного варианта подсчета фактической часовой производительности, с учетом этого коэффициента определяем:

$$P_o = P_{эд} \cdot 0,9 = 270 \text{ дюб/час} \quad (41)$$

где P_o – общая производительность по фактору времени на установку 20 дюбелей; $P_{эд}$ – производительность часовая (экспериментальная); 0,93 – коэффициент приведения.

Так как работы проводятся на нулевой отметке, повышающий норму времени коэффициент не вводился.

Часовая производительность на монтаж «термопанелей», с коэффициентом приведения 0,86 (СН 509-78) [1; 58]:

$$P_{оч} = P_э \cdot 0,86 = 103 \text{ шт/час} \quad (42)$$

где $P_{оч}$ – производительность общая часовая, $P_э$ – производительность экспериментальная; 0,86 – поправочный коэффициент (коэффициент приведения).

Площадь одной панели 0,72 м², соответственно норма времени на монтаж 100 м² «термопанелей» составит:

$$H_{вр} = \left(\frac{100}{P_{оч} \cdot 0,72} \right) \cdot 1,5 = \frac{100}{103 \cdot 0,72} \cdot 1,5 = 2,09 \text{ чел/час} \quad (43)$$

где $H_{вр}$ – норма времени; $P_{оч}$ – производительность общая часовая, 1,5 – коэффициент, повышающий норму времени при условии работы на высоте и толщине утеплителя более 120 мм.

Таким образом, норма времени установки дюбелей по предлагаемой автором технологии составила 2,7 ч/час; «термопанелей» на 100 м² – 2,09 чел/час.

Сравнение показателей норм времени на устройство теплоизоляции из пенополиуретановых плит традиционным способом (в соответствии с ЕНиР) [116] с нормой времени по предлагаемой технологии представлено в табл. 22.

Таблица 22 – Сравнение показателей затрат труда

Обоснование норм	Наименование технологического процесса (традиционный)	Ед. измерения	Норма времени, чел.-час	Наименование технологического процесса (предлагаемый)	Единица измерения	Норма времени, чел.-час
Е7-14	Устройство теплоизоляции из плит пенополиуретана	100м ²	11,5	Монтаж пенополиуретановых «термопанелей»	100м ²	2,09

Данные пооперационного хронометража подтвердили эффективность использования комплектующих, изготовленных в заводских условиях, в том числе унифицированной «термопанели» и дюбельного способа крепления кровельной системы.

По результатам проведенных производственных исследований были разработаны основные положения и оптимальная последовательность выполнения операций в предлагаемой автором технологии устройства фальцевой кровли из унифицированных быстросборных элементов.

4.3 Разработка технологической карты и технологического регламента на устройство вентилируемой фальцевой кровли

Последовательность выполнения операций в технологии устройства и реконструкции вентилируемой фальцевой кровли из унифицированных

быстроборных элементов согласно разработанной технологической схеме монтажа представлена на рисунках 90 – 98.

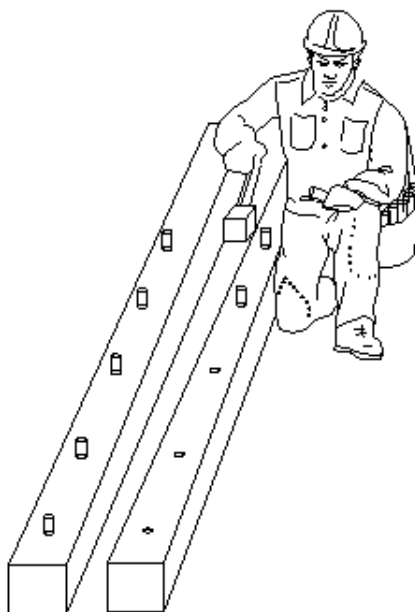


Рисунок 90 – Установка дюбелей в стропила

Установка дюбелей в стропила происходит в заранее пробитые в заводских условиях отверстия в наземном положении.

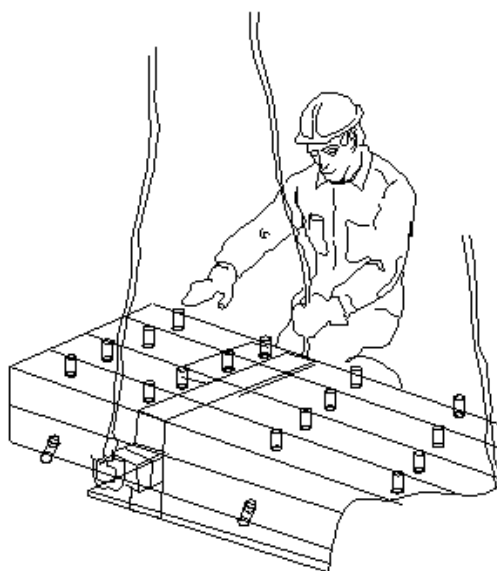


Рисунок 91 – Строповка стропил перед подъемом на кровлю

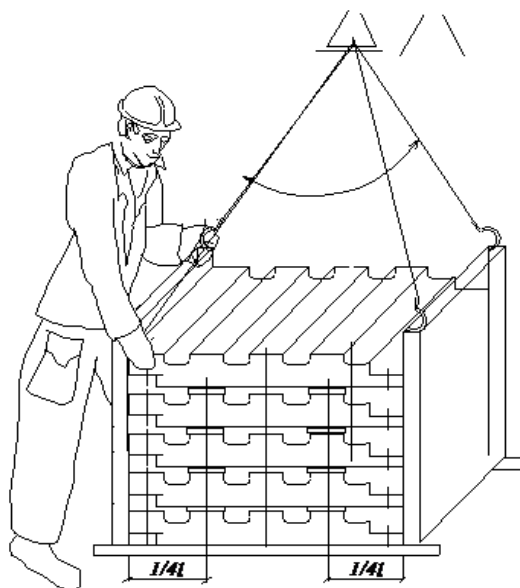


Рисунок 92 – Схема строповки контейнера с «термопанелями»

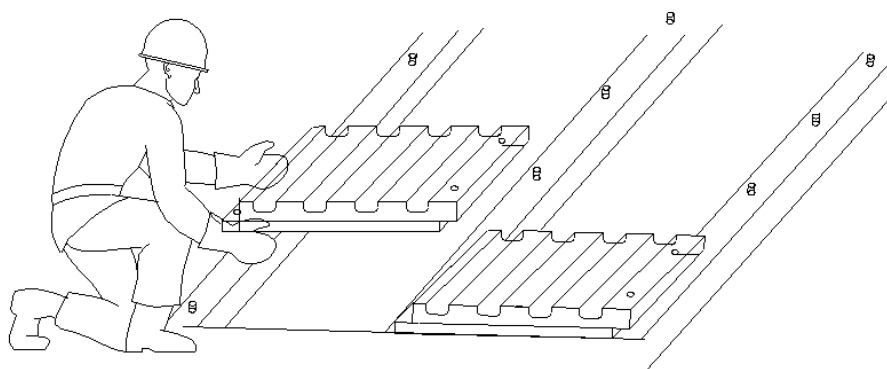


Рисунок 93 – Схема монтажа первого ряда «термопанелей» на предварительно установленную дюбельную систему

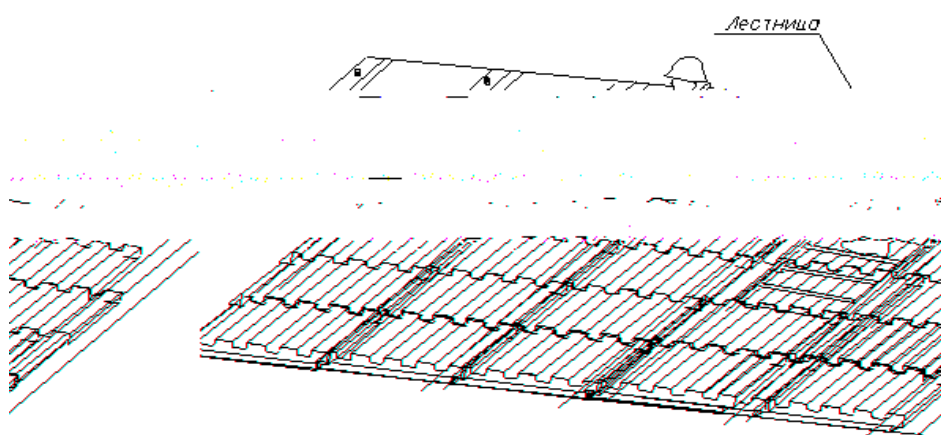


Рисунок 94– Монтаж второго и последующих рядов «термопанелей» с монтажных лестниц

Установка «термопанелей» предельно проста и не требует высокой квалификации кровельщика.

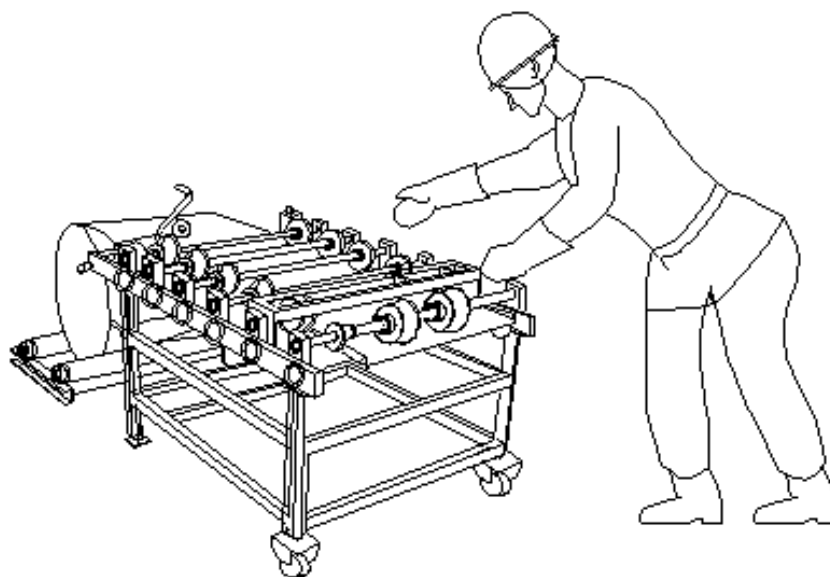


Рисунок 95 – Прокатка кровельных листов с одновременным присоединением антиконденсатного покрытия на станках МОБИПРОФ

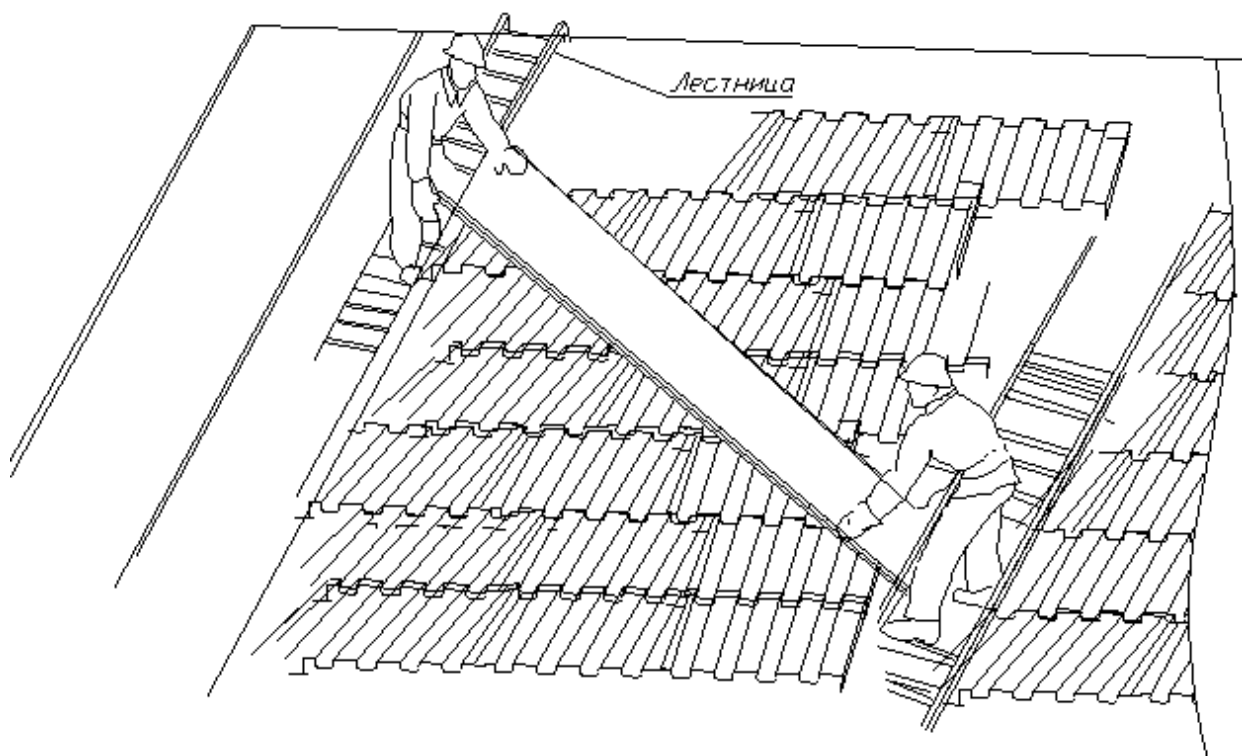


Рисунок 96 – Поднятие кровельных листов на крышу и установка от конька до ската кровли



Рисунок 97 – Дозакрытие фальцевого соединения рамками второго прохода



Рисунок 98 – Подготовка станка МОБИПРОФ к работе

На основе проведенного хронометража и вычисления норм времени на производство технологических операций по устройству кровли, составлена калькуляция затрат труда на производство кровельных работ для новой и традиционной технологии с целью их сопоставления (таблицы 23, 24).

Сравнение трудозатрат традиционной и предлагаемой автором

технологии устройства и реконструкции вентилируемой фальцевой кровли из унифицированных быстросборных элементов выполнялось для жилых домов серии 1-434, с площадью кровли 394 м² (13,74 х 28,67 м).

Для технологической операции по установке дюбелей в стропила был определен количественный состав из трех рабочих: непосредственный установщик дюбелей: 3 разр. – 1 чел, разнорабочих: 2 разр. – 2 чел, подносящих и относящих стропила. Для монтажа «термопанелей» на простую двухскатную крышу 2 рабочих: монтажник «термопанелей»: 3 разр. – 1 чел, разнорабочий: 2 разр. – 1 человек, для подачи материалов. При дополнительной подгонке «термопанелей» (например, вальмовые крыши), требуется монтажник 4 разр. – 1 человек.

Таблица 23 – Калькуляция затрат труда и машинного времени (на новую технологию)

№ п/п	Наименование технологического процесса	Единица измерения	Объем работ	Обоснование (ЕНиР и др. нормы)	Норма времени		Затраты труда		Состав звена
					рабочих, чел.-ч	машиниста, чел.-ч (маш.-ч)	рабочих, чел.-ч	машиниста, чел.-ч (маш.-ч)	
1	Огнезащита деревянных конструкций, стропил, мауэрлатов	10 м ³	16,8	10-01-087	8,50		143,1		Кровельщик 2р-1 Подсобный рабочий 1р-1
2	Установка с последующим креплением шурупами дюбелей	100 шт	12,48	ТЕР 9-05-003+ хронометраж	3,9		48,8		Плотник 3 р-1ч Разнорабочий 1р-2 чел
3	Установка стропил	м ³	14	ФЕР 81-02-10-2001	24,09	12,86	313,17	167,18	Кровельщик 4р-1 Кровельщик 3р-1 Кровельщик 2р-2 Подсобный рабочий
4	Монтаж кровельного покрытия из многослойных «термопанелей» заводской готовности	100 м ²	4,09	ФЕР 81-02-09-2001 09-04-002-03 § Е7-14.+ хронометраж (201-9400)	2,09	0,20	8,6	1,1	Кровельщик 3р-1 Подсобный рабочий 2р-1
5	Устройство простых кровель из листовой оцинкованной стали толщиной: 0,6 мм	100 м ²	4,09	12-01-007-18 11 - 22: 02	66,72	3,50	366,29	19,22	Кровельщик 4р-1 Кровельщик 3р-1 Кровельщик 2р-2
	ИТОГО						879,96	187,50	

Таблица 24 – Калькуляция затрат труда и машинного времени (традиционная технология)

№ п/п	Наименование технологического процесса	Единица измерения	Объем работ	Обоснование (ЕНиР и др. нормы)	Норма времени		Затраты труда		Состав звена
					рабочих, чел.-ч	машиниста, чел.-ч (маш.-ч)	рабочих, чел.-ч	машиниста, чел.-ч (маш.-ч)	
1.	Установка стропил	м3	14	ФЕР 81-02-10-2001 § Е6-9.	24,09	12,86	313,17	167,18	Кровельщик 4р-1 Кровельщик 3р-1 Кровельщик 2р-2 Подсобный рабочий-1
2.	Устройство обрешетки	100 м2.	13,44	ФЕРр 81-04-58-2001 58-12-2	21,35		286,94		Кровельщик 4р-1 Кровельщик 3р-1 Кровельщик 2р-2 Кровельщик 1р-1
3.	Устройство контробрешетки толщиной 45мм	100м2	13,44	ФЕРр 81-04-58-2001 § Е6-9.	21,35		286,94		Кровельщик 4р-1 Кровельщик 3р-1 Кровельщик 2р-2 Кровельщик 1р-1
4.	Огнезащита деревянных конструкций, стропил, мауэрлатов	10 м3	49,66	10-01-087 § Е6-32.	8,50		422,11		Кровельщик 2р-1 Подсобный рабочий 1р-1
5.	Огнезащита обрешеток под кровлю, покрытия и настилы по фермам	1000 м2	6,72	10-01-088 § Е6-32.	31,61		212,42		Кровельщик 2р-1 Подсобный рабочий 1р-1
6.	Устройство пароизоляции прокладочной один слой	100 м2	5,89	12-01-015-3 12-01-015-01 § Е7-13.	7,84		46,24		Кровельщик 3р-1 Кровельщик 2р-1
7.	Утепление покрытий плитами из минеральной ваты или перлита на битумной мастике в один слой	100 м2	5,49	Е1201-013-03 12-01-013-03 12-01-013 § Е7-14	45,54	0,20	250,02	1,1	Кровельщик 4р-1 Кровельщик 3р-1 Кровельщик 2р-1
8.	Утепление покрытий плитами из минеральной ваты или перлита на битумной мастике второй слой	100 м2	5,49	12-01-013-4 12-01-013-04 § Е7-14	35,26	0,83	193,57	4,56	Кровельщик 4р-1 Кровельщик 3р-1 Кровельщик 2р-1
9.	Установка пароизоляционного слоя из пленки полиэтиленовой в один слой	100 м2	5,89	26-01-055-1 § Е7-13. 12-01-015	6,70	0,21	39,46	1,24	Кровельщик 3р-1 Кровельщик 2р-1
10.	Устройство простых кровель из листовой оцинкованной стали толщиной: 0,6 мм	100 м2	4,09	12-01-007-18 11 - 22: 02	66,72	3,50	366,29	19,22	Кровельщик 4р-1 Кровельщик 3р-1 Кровельщик 2р-2
	ИТОГО						2417,16	193,3	

Проверка фактических трудозатрат проводилась по формуле [58]:

$$Q_{\phi} = (H_{\text{вр}} \cdot V) / K_{\text{пр}} \quad (44)$$

где Q^{ϕ} – фактическая трудоемкость; $H_{\text{вр}}$ – норма времени на монтаж панелей, V – объем работ; $K_{\text{пр}}$ – коэффициент производительности труда, учитывающий потери времени.

Преимуществом предлагаемой технологии, является предварительная пробивка установочных отверстий и установка дюбелей, что при монтаже последующего покрытия, повышает точность и бездефектность сборки, отпадает необходимость протягивать монтажную ленту, проводить разметку и выверку непосредственно на кровле. Также было установлено, что за счет унификации и переноса части технологических операций в заводские условия, появляется возможность сокращения продолжительности, следовательно, и стоимости работ при использовании средств малой механизации.

На основании полученных данных были построены в Microsoft Project 2010 и AutoCAD и сопоставлены календарные планы проведения кровельных работ по традиционной технологии установки утепленного кровельного покрытия и разработанной автором технологии (таблицы 25, 26) [33; 34; 35].

Таблица 25 – Календарный план проведения работ по разработанной эффективной технологии

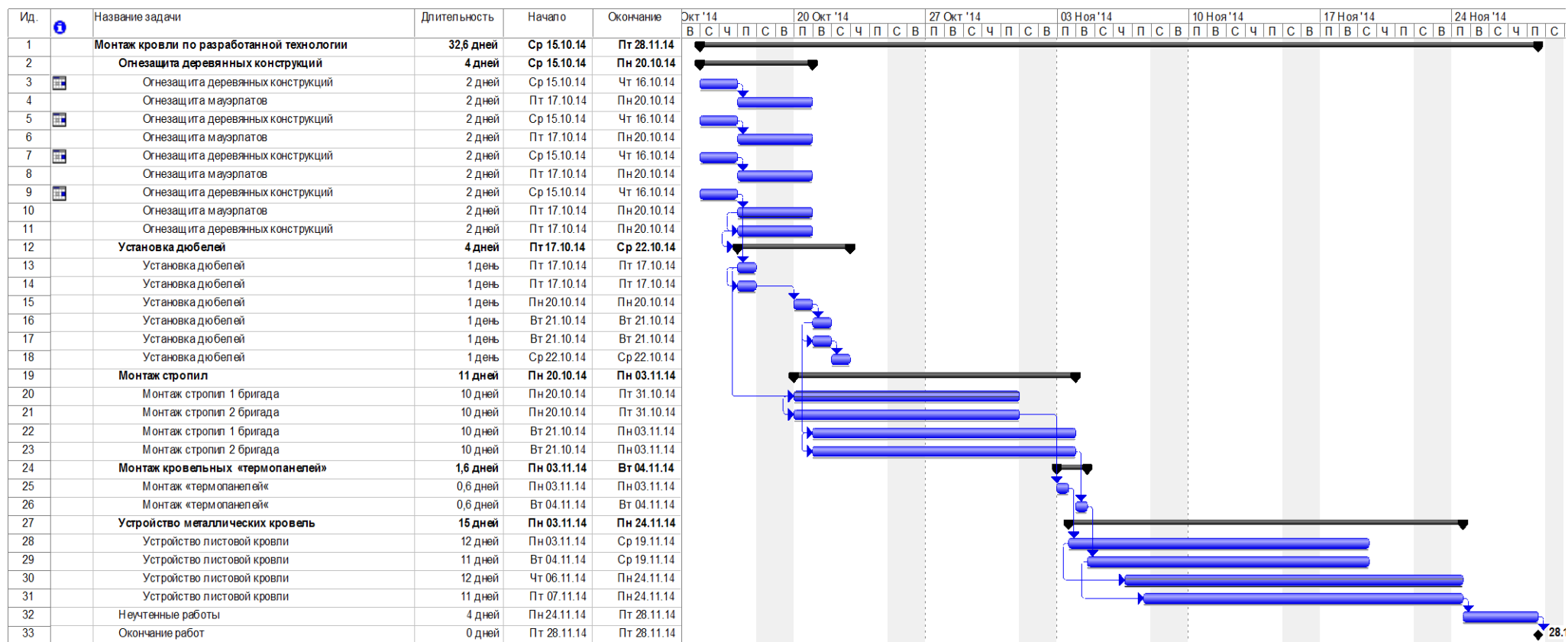
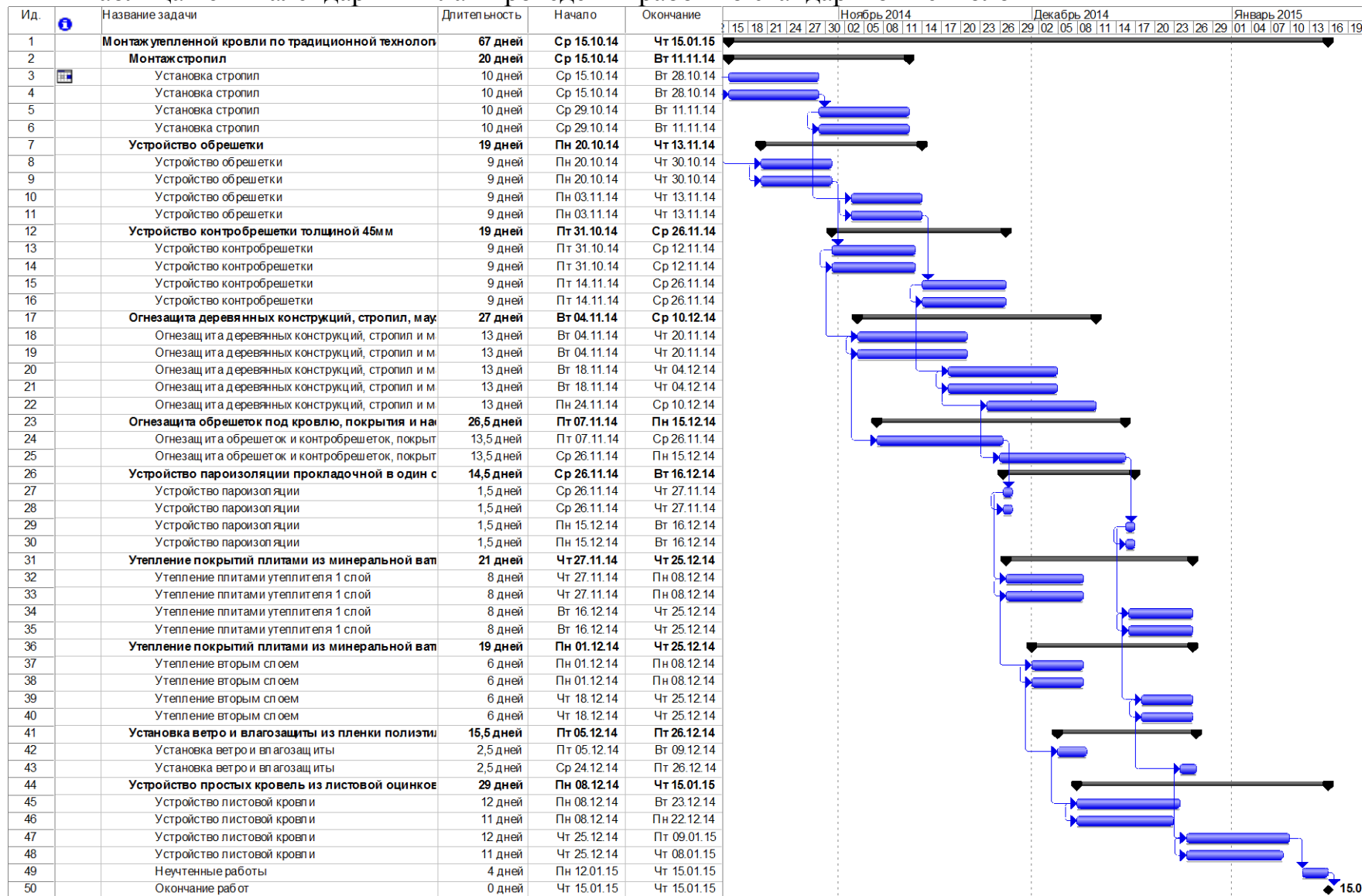


Таблица 26 – Календарный план проведения работ по стандартной технологии



Таким образом, на основе производственной проверки была установлена работоспособность предлагаемой технологии. Данный метод позволяет монтировать кровли из унифицированных элементов в сжатые сроки.

4.4 Разработка элементов технологической карты и технологического регламента на устройство вентилируемой фальцевой кровли

Разработана технологическая карта и технологический регламент на устройство вентилируемой фальцевой кровли по новой технологии.

Технологический регламент на установку металлической кровли из унифицированных элементов, включающий конструктивные и организационно-технологические решения выполнения основных работ представлен в Приложении 6. В технологическом регламенте приведены физико-механические характеристики применяемых материалов предлагаемой технологии, а также технические решения узлов кровли, устройство примыканий.

Разработаны требования по качеству работ, охране труда и технике безопасности, а также мероприятия по организации рабочего места, противопожарные требования, потребность в материально-технических ресурсах.

Технологический регламент также включает разделы по приемке, хранению строительных материалов (см. приложение 6).

Предлагаемая технология устройства утепленной фальцевой на основе унифицированных быстросборных элементов может использоваться для малоэтажных зданий со скатными крышами, а также при реконструкции старых малоэтажных зданий, строительстве мансардных жилых квартир и «мини» гостиниц в малоэтажном строительстве, частном домостроении, подсобных рабочих помещениях под кровлей производственных зданий, ангарах, помещениях для холодильных установок, гаражах, строительстве баз отдыха, временного или быстровозводимого жилья, а также сборно-разборных

перемещаемых строениях. Технология дает возможность поэтапного введения объекта и позволяет временное использование «термопанелей» в качестве временной кровли.

4.5 Оценка технико-экономических показателей технологии устройства вентилируемой фальцевой кровли из унифицированных быстросборных элементов

Основными факторами, влияющими на оценку экономической эффективности, являются: трудоемкость, влияющая на продолжительность производства работ, стоимость производства работ, включающая стоимость материальных ресурсов, основной заработной платы, стоимость эксплуатации машин и накладных расходов.

В результате проведенного анализа предлагаемой технологии устройства кровли была выявлена зависимость удельной трудоемкости установки кровли от повышения степени унификации и уменьшения сборочных элементов кровли, соответственного уменьшения числа трудовых операций, повышения эффективности и технологичности сборочных работ, за счет удобства и простоты их ручного монтажа малым звеном кровельщиков.

Одним из основных показателей технологичности является трудоемкость монтажа, которая зависит от унификации и сборности изделия. Для критерия оценки выбора рационального варианта, были приняты базовые показатели существующих способов устройства утепленной фальцевой кровли.

Показатель унификации элементов кровли определяется по формуле:

$$K_y = \frac{E_z + E_n}{E_z + E_n + E_{op}} = \frac{1}{1 + E_{op}}, \quad (45)$$

где E_z , E_n , E_{op} - сборочные единицы в количественном измерении: E_z - заводского изготовления, E_n - покупные в торговых сетях, E_{op} - оригинальные и

доработанные из стандартных заготовок.

Для традиционной технологии утепленной кровли показатель унификации составил

$$K_y = \frac{1}{1 + (E_{\text{ст}} + E_{\text{обр}} + E_{\text{кобр}} + E_{\text{антик}} + E_{\text{пар}} + E_{\text{покр}})} \cdot 100 \% = 14 \%$$

$$\text{Для новой технологии: } K_y = \frac{1}{1 + E_{\text{покр}}} \cdot 100 \% = 50 \%$$

Коэффициент сборности устанавливаемой кровли [118; 6]:

$$K_{\text{сб}} = \frac{E}{E + D}, \quad (46)$$

где E – число унифицированных сборочных единиц элементов кровли, D – общее число элементов кровли, за исключением вошедших в сборочные единицы, и крепежных деталей.

Для новой технологии $K_{\text{сб}} = 0,9$, для стандартной $K_{\text{сб}} = 0,57$.

Повышение унификации элементов конструкции и повышение коэффициента сборности способствует снижению трудозатрат. Сравнение трудозатрат традиционной и предлагаемой автором технологии устройства и реконструкции вентилируемой фальцевой кровли на основе унифицированных быстросборных элементов выполнялось жилых домов серии 1-434 (см.таблицы 23 – 24):

– по традиционной технологии затраты труда составили 2417,16 чел.-ч, или 303 чел.-дн., после оптимизации продолжительность работ – 67 дн., коэффициент неравномерности использования трудовых ресурсов 0,72;.

– по новой технологии составили всего 879,96 чел.- час, или 110 человека дней, при оптимизированной продолжительности производства работ – 32,6 дня, коэффициент неравномерности использования трудовых ресурсов 0,82.

Снижение трудозатрат непосредственно влияет на производительность работ, основными показателями которой являются выработка и трудоемкость .
Производительность работ определяется:

$$П = (V \cdot K_{сб} / T_{час} \cdot K_{рес}) \cdot 100\%, \quad (47)$$

где $П$ – производительность труда, V – объем выполняемых работ, $K_{сб}$ – коэффициент сборки, $T_{час}$ – трудоемкость в чел-ч, $K_{рес}$ – коэффициент использования трудовых ресурсов.

Производительность работ для традиционной утепленной кровли составляет:

$$П_k = \left(409 \cdot 0,57 / 2417,16 \cdot 0,72 \right) \cdot 100\% = \frac{233,13}{1740,36} \cdot 100\% = 13\%;$$

$$T_{ср} = \frac{T_c}{T_{дн}} = \left(\frac{2417,16}{54} \right) = 44,76, K_{рес} = \frac{N_{макс}}{T_{ср}} = \frac{32}{44,76} = 0,72,$$

где T_c – общая трудоемкость (чел/час), $T_{дн}$ – продолжительность ведения строительства (дн), $T_{ср}$ – средняя трудоемкость чел.-дн., $N_{макс}$ – максимальное количество рабочих в смену, $K_{рес}$ – коэффициент использования трудовых ресурсов.

Для разработанной технологии:

$$П_p = \left(409 \cdot 0,9 / 879,96 \cdot 0,58 \right) \cdot 100\% = \frac{368,1}{510,37} \cdot 100\% = 72\%,$$

$$T_{ср} = \frac{T_c}{T_{дн.}} = \left(\frac{879,96}{33} \right) = 26,7, K_{рес} = \frac{N_{макс}}{T_{ср}} = \frac{22}{26,7} = 0,82$$

где T_c – общая трудоемкость (чел.-ч), $T_{дн.}$ – продолжительность ведения строительства, $T_{ср}$ – средняя трудоемкость чел.-дн., $N_{макс}$ – максимальное количество рабочих в смену.

При этом уровень производительности труда для разработанной технологии составил:

$$У_{пр} = \left(V / T_c \right) \cdot 100\% = 87,8\%, \quad (48)$$

где V – объем выполненных работ.

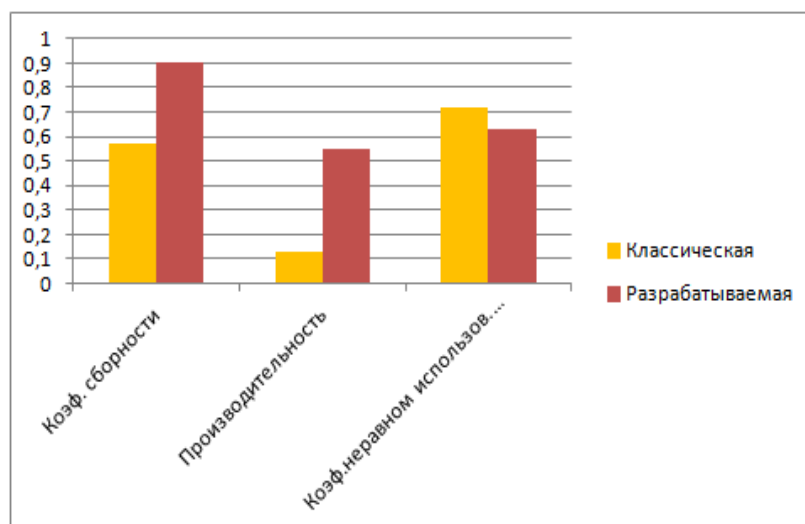


Рисунок 99 – Сравнение традиционной и новой технологий по коэффициенту сборки, неравномерности, использованию трудовых ресурсов и производительности труда

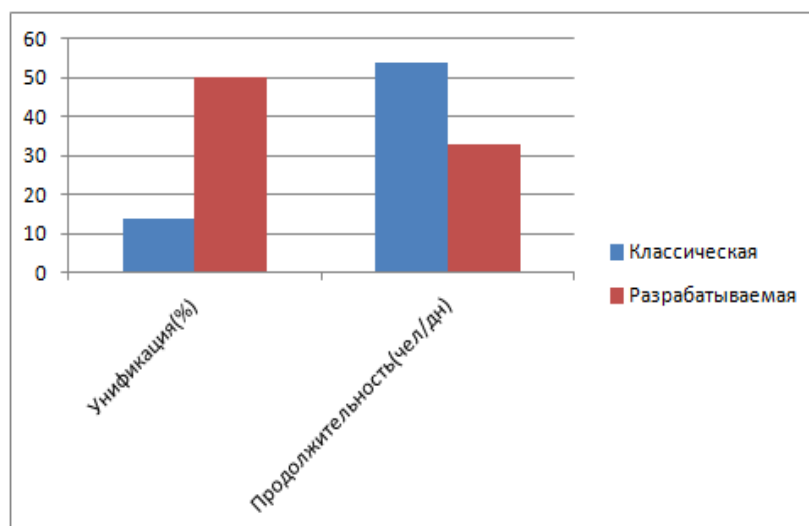


Рисунок 100– Сравнение традиционной и новой технологий по показателю унификации и продолжительности

Повышение уровня унификации сборочных единиц, высокий коэффициент сборки при среднем коэффициенте неравномерности использования трудовых ресурсов, существенно повышает производительность работ по новой технологии за счет относительно простой технологии монтажа, не требующей высокой квалификации кровельщиков, при этом снижается общая продолжительность производства работ по сравнению с традиционной технологией (рисунки 99, 100, 101).

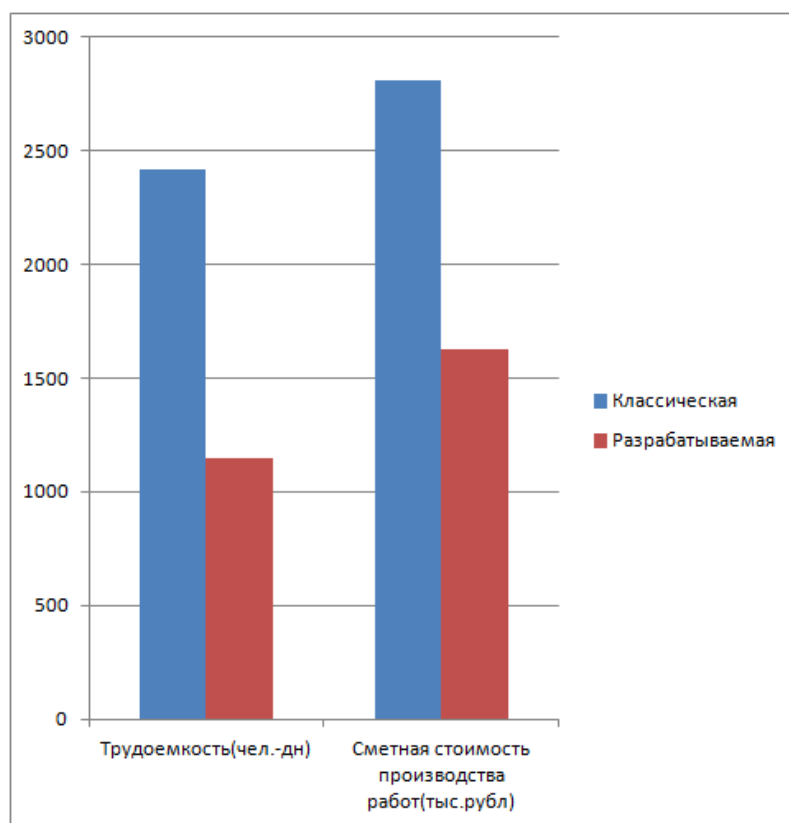


Рисунок 101 – Сравнение традиционной и новой технологий по трудоемкости и стоимости производства работ

Расчет сметной стоимости на кровлю выполнялся жилых домов серии 1-434, с площадью кровли 394 м^2 ($13,74 \times 28,67 \text{ м}$): для традиционной утепленной кровли сметная стоимость составила – 2 812 117,61 руб., для предлагаемой автором диссертации – 1 629 089,12 рублей, что на 57, 93 % меньше для традиционной технологии.

На основании ранее проведенного анализа по критерию энергоэффективности материалов утеплителя при одинаковом сроке долговечности, было выявлено (см. таблицу 6, рисунок 7), что энергоэффективность пенополиуретана за срок эксплуатации до 25 – 30 лет повышается с 0,005 до 0,092 кВт*ч/м³ год; показатели энергоэффективности каменной ваты со сроком эксплуатации максимум 10 лет, при условии идеального соблюдения правил эксплуатации составляет 0,003 – 0,012 кВт*ч/м³ год. Даже с учетом разницы в стоимости этих материалов, за счет длительной эксплуатации и значений расчетной теплопроводности пенополиуретан

значительно энергоэффективнее каменной ваты.

Сравнительный анализ разработанной автором технологии устройства кровли с использованием «термопанелей» и технологии с использованием сэндвич-панелей на 1 м^2 элемента приведен в таблице 27.

Таблица 27 – Сравнительный анализ стоимости 1 м^2 сэндвич-панели и 1 м^2 «термопанели»

Расчетная единица	Сэндвич-панель	«Термопанель»
Стоимость 1 м^2	Стоимость «сэндвич –панели» толщиной 100 мм с облицовкой стальным листом толщиной 0,7 мм: 1850 р. Стоимость фасонных элементов: 1 м^2 - 500 руб.	Стоимость «термопанели» с ребристым верхним профилем на основе расчета стоимости материалов и производства работ с НДС: 780 руб. Стоимость металлического покрытия, лист стальной оцинкованный непрерывных линий 0,7 мм: 190р
	Итого: ≥ 2350 рублей	Итого: 970 рублей
Дополнительные расходы	Необходимо добавлять в стоимость монтажа постоянное присутствие подъемной техники для подъема панели на крышу и произвести монтаж.	Возможно использование легкого грузоподъемного оборудования типа кран «Пионер» для единовременной загрузки.
Вес 1 м^2 покрытия	19-21 кг	9,7 кг

Экономическая эффективность технологических решений оцениваются прогнозированием затрат на стадиях строительства, подготовки и обеспечения машинами и механизмами, их содержания и ремонта, а также на стадии реконструкции и ремонта, демонтажа и утилизации элементов кровли.

Оценка экономической эффективности принятого технологического решения выполнена с учетом использования транспортных средств и кранового оборудования.

Данные сравнительного анализа технико-экономических показателей традиционной и разработанной технологий на скатную кровлю площадью 394 м^2 ($13,74 \times 28,67 \text{ м}$) (таблица 28).

**Таблица 28 – Сравнительный анализ технико-экономических показателей
общепринятых технологий монтажа утепленного кровельного покрытия и
разрабатываемой технологии**

Сравниваемые показатели	Традиционная технология	«Сэндвич –панели»		Разработанная технология
Требуемые трудозатраты на монтаж утепленного покрытия	2417, 16 чел.-ч	842, 42 чел.-ч		879,96 чел.-ча
Нормы времени на монтаж 100 м ²	Е7-14	Е5-1-21		-
	11,5 чел.-ч + монтаж кров. листов + монтаж антик. пленок и т.д.	13,9 чел.-ч	3,6 м/час	2,09 чел.-ч + монтаж кровельных листов
Стоимость утепленного покрытия 1 м ²	Стоимость 2х листов утеплителя каменной ваты 1200х600х100мм - 320 руб. Стоимость 1 м.п. антиоксидантного покрытия - 240 руб. Стоимость пароизоляционного покрытия-120 руб. Стоимость брусков обрешетки и контробрешетки - 81руб. Лист стальной оцинкованный непрерывных линий 0,6 мм: 190 руб	Стоимость «сэндвич –панели» толщиной 100 мм с облицовкой стальным листом толщиной 0,6 мм: 1850 руб. Стоимость 2х- фасонных элементов : 500 р 1 м²		Стоимость «термопанели» с ребристым верхним профилем на основе расчета стоимости материалов и производства работ с НДС: 780 руб. Стоимость металлического покрытия, лист стальной оцинкованный непрерывных линий 0,6 мм: 190 руб.
	Итого: ≥ 951 руб.	Итого: ≥ 2350 руб.		Итого: 970 руб.
Вес покрытия с верхней площадью в 1 м ²	~ 20 кг	19-21 кг		max 9,7-10 кг
Сметная стоимость на эксплуатацию машин и механизмов	52 348, 36	97 486, 39		49 744, 81
Зарплата по сметной себестоимости	536 366, 6 руб.	545 433, 78 руб.		201 344, 32
Накладные расходы от фонда оплаты труда	478 514, 48руб.	236 138, 12 руб.		186 028, 6
Всего по локальной смете	2 812 117, 61 руб.	1 949 612, 36 руб.		1 629 089, 12 ру.
Процентное отношение	100 %	69 % от локальной сметы общепринятой технологии		57 % от локальной сметы общепринятой технологии
Предполагаемый срок службы кровельного покрытия	7 лет, повторное использование не возможно	гарантия производителя составляет 7-10 лет, повторное использование не предполагается		≥ 25 лет, с возможностью повторного использования «термопанелей» в случае необходимого ремонта верхнего гидроизолирующего покрытия



Рисунок 102 – Процентное отношение расходов общепринятой технологии монтажа по локальной смете

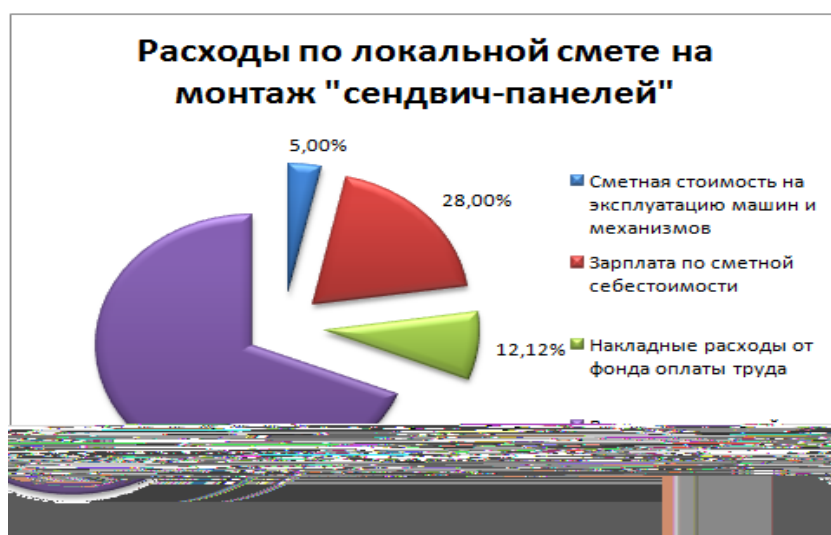


Рисунок 103 – Процентное отношение расходов по локальной смете на монтаж "сэндвич-панелей"



Рисунок 104 – Процентное отношение расходов по локальной смете на исследуемую автором технологию

Таким образом, установлено, устройство кровли по традиционной технологии требует более значительных трудозатрат, чем по исследуемой автором, а монтаж «сэндвич-панелей» (сборно-модульная система монтажа) требует высокой квалификации кровельщиков, наличия дорогостоящего кранового оборудования, что значительно удорожает локальную сметную стоимость (см. рисунки 102-104).

Унификация элементов и упрощение монтажа в новой предлагаемой и исследуемой автором технологии устройства и реконструкции вентилируемых фальцевых кровель из унифицированных быстросборных элементов, по отношению к традиционной технологии монтажа утепленной фальцевой кровли, является наиболее эффективной: сокращает трудозатраты на 47,6 %; уровень производительности труда составляет 87,8 %; экономический эффект от сокращения сроков ввода в эксплуатацию; использовать труд меньшего числа менее квалифицированных рабочих-кровельщиков, что позволит снизить затраты на фонд оплаты труда и локальную сметную стоимость по сравнению с общепринятой технологией на 57,93 %, так как фонд оплаты труда ложится на себестоимость продукции, сокращает прибыль и снижает рентабельность, технология не требует разработки нового оборудования; при установке на металлические стропила или легкие стальные конструкции позволяет вести монтаж без применения сварочного оборудования, существенно упрощая выполнение технологического процесса устройства кровли, превращая его в простые операции, сокращение их количества и возможности совмещения сборочных операций за счет временной установки «термопанелей» на дюбельную систему.

Выводы по 4 главе

Предложена оптимальная технологическая последовательность выполнения рабочих операций по устройству кровли из унифицированных быстросборных элементов, позволяющая вести безвыверочный монтаж с минимизацией возможных дефектов монтажа за счет геометрически точных элементов заводского изготовления. Здание разбивается на захватки, которые в свою очередь делятся на монтажные и рабочие участки, на каждом из которых

выполняется только один вид работ. Устройство фальцевой кровли ведется комплексной бригадой, поточным методом организации работ с непрерывным освоением фронтов, учетом запрета работы одной бригады над другой.

Установлены параметры факторов, влияющие на выбор технологического решения по устройству и ремонту скатной кровли: технологичность (определен показатель унификации конструкции и коэффициент ее сборности), трудоемкость, стоимость, энергоемкость и срок службы:

- для традиционной технологии утепленной кровли показатель унификации составил 14 %; новой – 50 %.
- коэффициент сборности: для традиционной – 0,57; новой – 0,9.
- энергоэффективность пенополиуретана за срок эксплуатации до 25 – 30 лет повышается с 0,005 до 0,092 кВт*ч/м³ год; показатели энергоэффективности каменной ваты со сроком эксплуатации максимум 7 – 10 лет, при условии идеального соблюдения правил эксплуатации составляет 0,003 – 0,012 кВт*ч/м³ год.

На основе проведенного анализа существующих технологий устройства утепленных металлических кровель и проведенных экспериментальных исследований установлено, что сокращение трудоемкости в разработанной технологии по отношению к традиционной технологии составляет 47,6 %; повышение уровня производительности труда на 87,8 %; увеличение коэффициента унификации на 50 %; коэффициента сборности на 63 %; сокращение продолжительности выполнения работ 61 %; снижение сметной стоимости на 57, 93%; технология позволяет получить экономический эффект, в том числе и от сокращения сроков ввода в эксплуатацию, так как фонд оплаты труда влияет на себестоимость продукции, сокращает прибыль, и снижает рентабельность; технология не требует разработки нового оборудования, при установке на металлические стропила или легкие стальные конструкции позволяет вести монтаж без применения сварочного оборудования, существенно упрощая выполнение технологического процесса устройства кровли, превращая его в простые операции.

Предложенная технология является наиболее эффективной по отношению к общепринятым технологиям, обеспечивающей повышение

технологичности, экономичности и эффективности процесса устройства кровли при сокращении трудозатрат. Технология позволяет осуществлять поэтапное введение объекта в эксплуатацию, использование «термопанелей» в качестве временной кровли, сокращение расходов на проведение ремонтных работ за счет повторного использования сборно-разборных элементов, а при монтаже ангаров с большой шириной пролета возможна установка рулонного покрытия на всю длину ската, при этом не требуется использование сложного грузоподъемного оборудования и захватных устройств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ существующих технологий устройства фальцевых кровель, материалов, используемых в качестве утеплителя, способов крепления кровли со стропилами и утеплителем выявил необходимость совершенствования и разработки новых технологий устройства кровель, принимая за критерий оптимальности минимальную продолжительность, трудоемкость и стоимость работ с использованием эффективных утеплителей, менее трудоемких способов крепления кровельной системы, унификации строительных деталей, создания в покрытии вентиляционных каналов и других технических решений, эффективно влияющих на циркуляцию воздуха, снижая вероятность влагонакопления на уже установленных элементах.

2. Теоретически и экспериментально обоснован выбор материала утеплителя, отвечающий необходимым технологическим, теплотехническим и прочностным требованиям, и экономической целесообразности, в качестве которого принят жесткий мелкоячеистый пенополиуретан с показателем теплопроводности $\lambda=0,022 - 0,024$ Вт/м²К, минимальной плотностью равной 38 – 42 кг/м³. Применение выбранного материала позволяет уменьшить вес кровли и снизить ее стоимость.

3. Разработаны два варианта конструктивных решений «термопанели»: с пространственным фанерным каркасом и каркасом на основе базальтовой арматуры с утеплителем из пенополиуретана, использование которых, позволяет создать утепленную скатную кровлю с естественной вентиляцией, за счет наличия вентиляционных каналов, образуемых ребристой поверхностью «термопанелей», в которых для обеспечения оптимального воздухообмена при относительной влажности воздуха под кровлей от 55 % до 80 %, обоснованы рациональные размеры высоты ребер и угла наклона кровли от 18 до 30°. (Заявка на изобретение №2015116380 от 29.04.2015. Решение от

05.05.2015).

4. Выведено уравнение зависимости снижения нарастания перемещения от прилагаемой нагрузки при совместной работе пенополиуретана и фанерного каркаса. Определена способность пенополиуретана в «термопанели», ограничивать перемещение фанерного каркаса под нагрузкой, способствующая повышению несущей способности «термопанели» в напряженно-деформированном состоянии.

5. Результаты испытаний напряженного состояния образцов «термопанелей» показали: прочность их является достаточной для восприятия всех видов длительных статических и динамических воздействий, со значительным коэффициентом запаса; средняя нагрузка на 1 м^2 – 14 кН/м, при требуемой максимальной расчетной нагрузке – 3 кН/м, что позволяет использовать «термопанели» в качестве основных быстросборных несущих элементов.

6. Разработан способ соединения утеплителя и стропил (металлических и деревянных) с использованием металлических и полиамидных крепежных элементов, (патент РФ «Способ соединения фальцевой кровли со стропилами и утеплителем» № 2533463, от 05.05.2014 г.).

7. Экспериментально установлен достаточный запас прочности дюбельного соединения при проведении испытаний на срез и разрывную нагрузку. При расчетной нагрузке на один дюбель 0,9 кН, с учетом постоянной, снеговой и кратковременной нагрузок, максимальная нагрузка дюбельного соединения составила – 1,39 кН; средняя прочность полиамидного крепежа – 27,6 МПа при требуемой расчетной прочности 25 МПа на один крепежный элемент. Определены тип, требуемый диаметр дюбелей и крепежных элементов,

8. Производственная проверка предлагаемой технологии в условиях стройплощадки показала, что за счет использования быстросборных унифицированных элементов заводского изготовления и дюбельной системы

крепления появляется возможность безвыверочного выполнения монтажа, сокращения технологических операций, увеличения точности сборки конструкций кровли, при использовании малогабаритных мобильных средств механизации; сокращение трудоемкости – 47,6 %, повышение уровня производительности работ – 87,8 %, увеличение коэффициента унификации – 50 %, коэффициента сборности – 63 %, сокращение продолжительности выполнения работ – 61 %, снижение сметной стоимости – 57, 93 %.

Норма времени, по данным хронометража, на установку 100 м² «термопанелей» составила 2,09 чел.-ч., что существенно меньше значения нормы времени на устройство 100 м² теплоизоляции из плит пенополиуретана равной 11,5 чел.-ч (ЕНиР Е7-14).

9. Разработана технологическая карта и технологический регламент совместно ООО «Разработки и внедрения технологических решений» (Р.Т.Р.) по новой технологии, произведена апробация технологии и внедрение способа монтажа при установке рядового покрытия холодной кровли ООО «Северо-Восточный транзит» и утепленной металлической кровли ООО «Разработки и внедрения технологических решений».

Предлагаемая технология может быть применима для малоэтажных зданий со скатными крышами, мансард, «мини» гостиниц, частного индивидуального домостроения, ангаров, в том числе и большепролетных, производственных и других подобных по назначению зданий, а также при реконструкции старых малоэтажных зданий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеева, Елена Нормирование труда. Хронометраж. [Электронный ресурс]./ Алексеева Е., Иванова Н.// Электронный журнал: Управляем предприятием– 2011. –№10 (10) – Режим доступа: <http://www.consulting1c.ru> – Дата обращения 08.08.2014г.
2. Аленичева, Е.В. Организация строительства поточным методом: учебное пособие / Аленичева Е.В. –Тамбов.: Издательство ТГТУ –2004.–80с. – ISBN-5-8265-0287-8
3. Антиконденсатное покрытие DRIPSTOP [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.GrandLine.ru>– Дата обращения 08.04.2014г.
4. Антиконденсатное покрытие Металл Полимер. Компания «СК «Металл Полимер» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.metall-polimer.com>– Дата обращения 08.04.2014г.
5. Антиконденсатное покрытие Металл Профиль. «ВИЛЛАРС-М» [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <mailto:6773070@villarsm.ru>– Дата обращения 08.04.2014г.
6. Атаев, С.С. Технология строительного производства / С.С. Атаев, Н.Н. Данилов, Б.В.Прыкин и др. – М.: Стройиздат –1984. –559с.
7. Афанасьев, В.А. Поточная организация строительства / В.А. Афанасьев. –Ленинград: Стройиздат Ленинград. Отд-ние. – 1990. – 302с.
8. Белевич, В.Б. Кровельные работы / Белевич В.Б.; 3-е изд. перераб. и доп / – М.: изд-во «Высшая школа» – 2000. –400 с. – ISBN-5-060035514
9. Белевич, В.Б. Кровельные работы: учебное пособие для СПТУ / Белевич В.Б. –М.: «Высшая школа» – 1987.– 208 с.
10. Патент 40065 Российская Федерация, МПК U1 E04D3/36. Крепежный узел составных облицовочных конструкций [Электронный ресурс] / Благодарный М.А., – № 2004110518/22; заявл. 08.04.2004; опубликовано: 27.08.2004– Режим доступа: <http://worldwide.espacenet.com>– Дата обращения 12.08.2012г.
11. Бобряшов, В.М. Методы оценки расчетных значений физико-технических свойств эффективной теплоизоляции/ Бобряшов В.М., Бобряшов

- В.В. – М.: Промышленное и гражданское строительство–. 2012. – №3. – с.40-43.
12. Виды металлической кровли (ЧастьI) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.metallresurs.ru>– Дата обращения 08.11.2012г.
13. Патент № 2247201 Российская Федерация, МПК C1, E04D3/36. Соединение металлических полос [Электронный ресурс] / Виноградов И.С. заявка от 27.05.2003. – публикация 27.02. 2005. – Режим доступа: <http://worldwide.espacenet.com>– Дата обращения 12.08.2012г.
14. Гаппоев, М.М.. Конструкции из дерева и пластмасс: учебник / М.М. Гаппоев, В.И.Линьковым, Э.В.Филимонов –М: Издательство Ассоциации строительных вузов, ППП Типография Наука. – 2004. –440с. – ISBN-5-93093-302-2.
15. Гегелло, А. И.. Из творческого опыта: Возникновение и развитие архитектурного замысла / А. И. Гегелло. – Институт теории и истории архитектуры АСиА СССР. — Ленинград: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам – 1962. — 376 с.
16. Горбов, А.М. Основы кровельного мастерства /А.М. Горбов –М: АСТ – 2005. –208 стр. – ISBN- 5-17-029326-7
17. ГОСТ 17177-94 Материалы и изделия строительные теплоизоляционные методы испытаний. Методы испытаний: введ. Постановлением Минстроя России от 7 августа 1995 г. № 18-80. Взамен ГОСТ 17177-87. [Электронный ресурс] –М.: Издательство стандартов – 2001. – 40с. – Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru>– Дата обращения 28.08.2014г.
18. ГОСТ 21562-76 Панели металлические с утеплителем из пенопласта[Электронный ресурс] / ЦНИИС им. В.А. Кучеренко – М.: Госстрой СССР–31.12.1975. – Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru>– Дата обращения 28.08.2014г.
19. ГОСТ 23486-79 Панели стен и покрытий зданий слоистые с утеплителем из пенополиуретана: Методы испытаний на прочность [Электронный ресурс] – М.: Издательство стандартов, Госстрой СССР– 1980. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru>– Дата обращения 28.08.2014г.
20. ГОСТ 2715 Сетки металлические проволоочные. Типы, основные параметры и размеры (с Изменением N 1) [Электронный ресурс] – М.: Госстрой

СССР – 01.01.1977. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru>– Дата обращения 16.12.2013г.

21. ГОСТ 30256-94 Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Метод определения теплопроводности цилиндрическим зондом: введ. в действие 01.01.1996. [Электронный ресурс] – М.: издательство стандартов – 1996. –20с. –Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru>– Дата обращения 08.03.2014г.

22. Гринь, И.М. Строительные конструкции с применением пластических масс: учебное пособие / Гринь И.М., Илик М.И., Поберезкин Е.А., Скворцов А.Н. – Харьков: Издательство Харьковского университета, Типоофсетная фабрика Комитета по печати при Совете Министров УССР– 1968. – 340с.

23. Евсеев, Л.Д. Пенополиуретан в строительстве: аргументы и факты / Евсеев Л.Д.//Кровельные и изоляционные материалы.— 2006. – №1/7– с. 26–28.

24. Зайферт К. Расчет воздухообмена в вентилируемых крышах / Берлин, 1978.// Перевод Бердичевского В.Г. – М. Стойиздат –1983. – 136 с.

25. Зипенкорт Клаус. Работы по устройству металлических кровель и фасадов: материалы, обработка детали / Зипенкорт К. – М.: Изд. Дом Бизнес Медиа – 2011.– 189 с. – ISBN- 5-903350-01-1 978-5-903350-01-8

26. Инструкция по монтажу домов из SIP-панелей: каркасно-щитовая технология домостроения [Электронный ресурс]/ ЗАО «Домостроительство. – Режим доступа: <http://www.good-house.ru>-20с. – Дата обращения 16.11.2013г.

27. Инструкция по монтажу фальцевой кровли [Электронный ресурс] / INSI.RU–23 с. –Режим доступа: <http://insi.ru>– Дата обращения 02.02.2014г.

28. История каменной ваты [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ru.wikipedia.org>– Дата обращения 08.09.2014г.

29. История полистирола [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <http://www.ru.wikipedia.org>– Дата обращения 08.09.2014г.

30. История полиуретана [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ru.wikipedia.org>– Дата обращения 08.09.2014г.

31. Конструкции из дерева и пластмасс. Примеры расчета и конструирования: учебное пособие для вузов / Под редакцией профессора В.А. Иванова – Издание 3-е, переработанное и дополненное – Киев. Головное

издательство издательского объединения «Вища Школа». –1981. – 392 с.

32. Кровельные системы и ремонтные технологии. Скатные и мансардные крыши без наледи и сосулек [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.smt-19.ru– Дата обращения 02.02.2014г.

33. МДС 12-29.2006 Методические рекомендации по разработке и оформлению технологической карты: Методическая документация в строительстве ЦНИИОМТП [Электронный ресурс]. – М.: ЦНИИОМТП –2007.– Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru>– Дата обращения 17.03.2014г.

34. МДС 12-33.2007 Методическая документация в строительстве. Кровельные работы [Электронный ресурс] – 18с. – Режим доступа: <http://NorDoc.ru> – Электронная нормативная документация – Дата обращения 17.03.2014г.

35. МДС 12-81.2007 Методические рекомендации по разработке и оформлению проекта организации строительства и проекта производства работ: Методическая документация в строительстве ЦНИИОМТП [Электронный ресурс]. – М.: – 2007. – Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru>– Дата обращения 17.03.2014г.

36. Металлическая фальцевая кровля: плюсы и минусы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.krovilrussia.ru>– Дата обращения 26.11.2012г.

37. Металлическая фальцевая кровля: плюсы и минусы [Электронный ресурс] – Журнал Кровли в рубрике Материалы и технологии. –16.12. 2011–. Режим доступа: <http://krovlirussia.ru>– Дата обращения 26.11.2012г.

38. Монтаж кровельных сэндвич панелей – технология [Электронный ресурс] – 2015. – Режим доступа: <http://kryshadoma.com>– Дата обращения 08.06.2015г.

39. Настилы стальные профилированные для покрытий зданий и сооружений: Утвержден приказом ЗАО «ЦНИИПСК им. Мельникова» от 25.04.2005 №74 [Электронный ресурс] – М: Техническая инфотека. –2005.– Режим доступа: <http://www./know-house.ru/infotek>. – Дата обращения 12.08.2013г.

40. НКС — за ужесточение требований к энергоэффективности и экологичности материалов в ЖКХ! [Электронный ресурс]. –21 Март 2015 –

Режим доступа: <http://www.krovliirussia.ru/>– Дата обращения 08.04.2015г.

41. Об утверждении Номенклатуры специальностей научных работников Приказ Минобрнауки РФ от 25.02.2009 (ред. от 10.01.2012) (Зарегистрировано в Минюсте РФ 20.03.2009 N 13561) [Электронный ресурс] – Консультант Плюс –18.04.12. –Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>– Дата обращения 08.08.2014г.

42. Пастушков, П.П. Влияние влажностного режима ограждающих конструкций с наружными штукатурными слоями на энергоэффективность теплоизоляционных материалов: автореферат дис. канд.тех.наук: 05.23.08/ Пастушков П.П. – М. – 2013. – 23 с.

43. Поливода, А.И., Опыт разработки теплоизоляции из пенополиуретана марки «Бион» [Электронный ресурс] / А.И. Поливода, Ф.А. Поливода, Р.И. Соколовский.// Новости теплоснабжения. – 2009. –№5 (105). – Режим доступа: www.ntsni.ru/– Дата обращения 12.06.2014г.

44. Правила монтажа сэндвич-панелей. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.КрышиКровли.RU/>– Дата обращения 08.06.2014г.

45. Патент на полезную модель 95348 РФ, МПК E04D Фальц Костромской: Самозащелкивающийся кровельный фальц [Электронный ресурс] / Прохоров А. Н., Рыбаков В. А. – Дата публикации: 27.06. 2010– Начало действия патента: 17.11. 2009. –Режим доступа: <http://worldwide.espacenet.com/>– Дата обращения 03.08.2012г.

46. Расчет и выбор толщины термopанелей. Норматив сопротивления теплопередачи конструкции с учётом теплоизоляции для региона города Москвы /ооо «Профполимер» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.profpolymer.ru/>– Дата обращения 03.11.2013г.

47. Розанцева, Н. В. Энергосберегающая технология устройства кровли /Юдина А.Ф., Розанцева Н.В. //Актуальные проблемы архитектуры и строительства: материалы V международной конференции. – СПб: СПбГАСУ – 2013. – С. 486-491.

48. Розанцева, Н.В. Анализ конструктивно-технологических решений кровельных покрытий по критериям теплопроводности и влагостойкости. Ч. I. / Розанцева Н.В. //Актуальные проблемы строительства и архитектуры: материалы международной научно-практической конференции студентов,

аспирантов, молодых ученых и докторантов. – СПб: СПбГАСУ– 2012. — с. 226-229.

49. Розанцева, Н.В. Ресурсосберегающая технология крепления элементов фальцевой кровли /Юдина А.Ф., Розанцева Н.В. // Современные направления технологии, организации и экономики строительства: Доклады участников межвузовского научно-практического семинара. – СПб: ВИИТ ВА МТО имени ген. Армии А.В. Хрулева. – 2013. – вып. 16. – С.143-146.

50. Заявка на изобретение 2015116380 Российская Федерация, МПК E04C 2/26 «Теромпанель» для утепленных кровель / Розанцева Н.В., Юдина А.Ф.; заявитель и патентообладатель СПбГАСУ – 29.04.2015. – <http://worldwide.espacenet.com>– Дата обращения 08.08.2015г.

51. Розанцева, Н.В. Изыскание рациональной технологии устройства и реконструкции вентилируемой фальцевой кровли / Розанцева Н.В. – СПбГАСУ: Вестник гражданских инженеров — 2014. –№ 2 (43). — С. 92-97.

52. Розанцева, Н.В. Разработка ресурсосберегающей технологии устройства фальцевой кровли / Розанцева Н.В. — М.: Промышленное и гражданское строительство – 2014. –№9 – С. 74-77

53. Розанцева, Н.В. Реконструкция скатных кровель гражданских зданий / Юдина А.Ф, Розанцева Н.В. – СПбГАСУ: Вестник гражданских инженеров. – 2012. – №6(35). – С . 92-95.

54. Патент 2533463 Российская Федерация, МПК E04D 3/36 «Способ соединения фальцевой кровли со стропилами и утеплителем»/ Розанцева, Н.В., Юдина А.Ф., заявитель и патентообладатель СПбГАСУ –№ 2013132222/03, приоритет от 11.07.2013; опубликован 20.11.2014 г., Бюл.№ № 32-4014 (0,125 п.л.)

55. Розанцева, Н.В. Технология быстросборной крыши/ Розанцева Н.В. //Эффективные строительные конструкции: теория и практика: материалы XIII международной научно-технической конференции ПДЗ МК-141-113 памяти Барановой Т. И. – Пенза – 2013. – С. 92-96.

56. Розанцева, Н.В. Технология соединения фальцевой кровли со стропилами /Розанцева Н.В.//Строительство, дизайн, архитектура: разработка научных основ создания здоровой среды обитания: сб. материалов международной научной конференции – г. Киров– 2013. – С. 56-

62.

57. Розанцева, Н.В. Технология устройства быстросборной фальцевой кровли / Розанцева Н.В. – М.: Экономика строительства – 2014. – № 4(28). – С. 40-49.

58. СН 509-78 Инструкция по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. [Электронный ресурс] / Государственного комитета СССР по делам строительства от 13 декабря 1978 г. № 229 – М.: Госстрой СССР – 29.04.2009– Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru>– Дата обращения 08.08.2014г.

59. СНиП 12.03-2001 Безопасность труда в строительстве. Актуализированная редакция СП 49.13330.2012. I часть. Общие требования. Дата актуализации: 21.05.2015 [Электронный ресурс] / Строительные нормы и правила. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП. – 2001– Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru>– Дата обращения 08.07.2015г.

60. Лapidус, А.А. Технология возведения зданий и сооружений: Учебник для студентов ВУЗ, по направлению подготовки специалистов "Строительство"/Лapidус А.А, Теличенко В. И., Терентьев О. М.— М.: Высшая школа - 2001. —320с. — 500 экз.— ISBN 5-06-003992-7

61. Лapidус, А.А. Технология строительных процессов /Лapidус А.А, Теличенко В. И., Терентьев О. М.—М.: Высшая школа — 2007.- 512с. — ISBN: 978-5-06-005554-2

62. СНиП 12.04-2002 Безопасность труда в строительстве. Часть II. Строительное производство. Дата актуализации: 21.05.2015 [Электронный ресурс] – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП. – 2001. – Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru>– Дата обращения 08.07.2015г.

63. СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СП 20.13330.2011 [Электронный ресурс]. – М.: ЦНИИСК им В.А. Кучеренко – 20.05. 2011 .– Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru>– Дата обращения 08.08.2014г.

64. СНиП 2.08.01-89* Жилые здания [Электронный ресурс]/ – М.: ЦНИИЭП жилища Госкомархитектуры. – 2000. –Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru>– Дата обращения 08.08.2014г.

65. СНиП 21-01-97 Пожарная безопасность зданий и сооружений. Принят постановлением Минстроя РФ от 13 февраля 1997 г. N 18-7 (в редакции от 3 июня 1999 г., 19 июля 2002 г) [Электронный ресурс]. – М.: Госстрой России; Система ГАРАНТ. – 2004. –Режим доступа: <http://base.garant.ru>– Дата обращения 08.08.2014г.

66. СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий/ Взамен СНиП II-3-79* [Электронный ресурс]. – Госстрой РФ. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru>– Дата обращения 08.08.2014г.

67. СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции [Электронный ресурс] – М.: ЗАО ЦНИИПСК им.Мельникова. — с 1.07.2013. – Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru>– Дата обращения 08.08.2014г.

68. СНиП 31-02-2001 Дома жилые одноквартирные [Электронный ресурс] /ФГУП «ЦНС» – 22.03.2001. – Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru>– Дата обращения 08.08.2014г.

69. СНиП II-25-80 Деревянные конструкции: Постановление Госстроя СССР №132 от 08.07.1988. [Электронный ресурс]. — ЦНИИСК. Им. Кучеренко, ЦНИИпромзданий Госстроя СССР– 01.01.1989. — 46с. —Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru>– Дата обращения 26.11.2012г.

70. СНиП II-26-76* Кровли [Электронный ресурс]. — М: ЦНИИпромздания Госстроя СССР—1.01.1980— Режим доступа:<http://files.stroyinf.ru>– Дата обращения 26.11.2012г.

71. СНиП III-4-80 Техника безопасности в строительстве, с изменениями N 1-5 в редакции/Федеральное государственное учреждение. Центр охраны труда в строительстве. Госстрой России [Электронный ресурс]– М.: ГУП ЦПП – 2000. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru>– Дата обращения 08.08.2013г.

72. СНиП РК 3.02-06-2009 Крыши и кровли /Государственные нормативы в области архитектуры, градостроительства и строительства. [Электронный ресурс]– 2009.– 1 июня 2010 г. –Режим доступа: <http://fireman.kz>– Дата обращения 08.08.2013г.

73. СП 12-135-2003. Безопасность труда в строительстве. Отраслевые типовые инструкции по охране труда [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <http://www.TENLIT.RU>– Дата обращения 24.04.2014г.

74. СП 13330.10 Кровли СНиП II-26-2010. Издание официальное. Минрегион России, 2010. [Электронный ресурс] —М.- 2011 – 69 с. — Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru> – Дата обращения 14.11.2013г.

75. СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*: ЗАО "Кодекс" и сверен по: официальное издание [Электронный ресурс] —М.: Минрегион России — 2011. – <http://files.stroyinf.ru>– Дата обращения 14.11.2013г.

76. СП 17.13330.2011 Свод правил: Кровли. Актуализированная редакция СНиП II-26-76. Официальное издание [Электронный ресурс]— М.– 2011– 69 с. –Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru>– Дата обращения 08.08.2013г.

77. СП 50.13330.2012: Свод правил по проектированию и строительству: тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-101-2004: введ. в действие с 30.07.2012 [Электронный ресурс]. –М.: Минрегион России — 2012 –100 с. –Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru>– Дата обращения 08.08.2013г.

78. СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80 [Электронный ресурс] — М.: ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко–2011 –Режим доступа: <http://docs.cntd.ru>– Дата обращения 08.08.2013г.

79. СП II-3-79* Строительная теплотехника: Приложения / НИИСФ Госстроя СССР с участием НИИЭС и ЦНИИпромзданий Гостроя СССР[Электронный ресурс] –М.: Минстрой России –1995. –Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru>– Дата обращения 21.08.2012г.

80. Справочно-информационное издание о крепежных изделиях и технологиях– М.: Журнал ШиГ. —1999– № 03 (03)

81. Табунщиков, Ю.А. Тепловая защита ограждающих конструкций зданий и сооружений /Ю.А. Табунщиков, Ю.А. Матросов, Д.Ю. Хромец. – М: Стойиздат. – 1986. – 380 с.

82. Теплая кровля Кровельная система Металл Профиль. Версия 1.0. январь 2012. www.metallprofil.ru [Электронный ресурс]/ Техническая инфотека – 22 с.. –Режим доступа: [www/know-house.ru/infotek](http://www.know-house.ru/infotek). – Дата обращения 08.08.2013г.

83. Технология монтажа кровельных сэндвич панелей: основные моменты[Электронный ресурс]. — 2015– Режим доступа: <http://stylekrov.ru>–

Дата обращения 08.07.2014г.

84. Фальцевая кровля — металлическая броня вашего дома. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://roof-tops.ru>– Дата обращения 14.02.2014г.

85. Федоров, А. Фальцевая кровля. Статьи. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.unikma.ru>

86. Фальцевая кровля Ruukki Classic [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tdgrotesk.ru>– Дата обращения 14.02.2014г.

87. Фальцевозакаточные машины: обзор рынка/ Статья подготовлена по материалам компаний: Neva Line, «Управление кровельной комплектации «Алтес», «Центроснабрезерв», «Астрон Билдингс С.А.» Представительство в России: в рубрике. Материалы и технологии. [Электронный ресурс] – М: Кровли.–12 января 2012. – Режим доступа: <http://www.krovlirussia.ru/>– Дата обращения 11.09.2013г.

88. Федеральный закон 384-ФЗ. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений/30 декабря 2009 года. [Электронный ресурс]. – 2009. — Режим доступа: <http://NorDoc.ru> – Электронная нормативная документация – Дата обращения 02.02.2014г.

89. Федеральный закон РФ от 22. 07. 2008 г. №123-ФЗ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://NorDoc.ru>– Дата обращения 02.02.2014г.

90. Федеральный закон РФ от 23.11.2009г. № 261-ФЗ Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://NorDoc.ru>– Дата обращения 02.02.2014г.

91. Руководство по технологии устройства кровель с частичным креплением водоизоляционного ковра к основанию/ Белевич В.Б., Сиденко Д.А. –М: ЦНИИОМТП– 2002. –68 с.

92. Фокин, К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих конструкций. Издание 4-е переработанное и дополненное/Фокин К.Ф. – М. Стойиздат –1973. – 287 с.

93. Ханс-Петер Реш. Кровельщик по металлу. Основы. Узлы. Решения / Переводчик: Петр Жук. – М: Бизнес Медиа. – 2010г – 320с.

94. Шильд, Е. Строительная физика / Шильд Е., Кассельман Х.-Ф., Дамен Г., Поленц Р. Перевод Бердичевского В.Г.; под редакцией Э.Л. Дешко. – М. Стойиздат – 1982. – 296 с.

95. Ярцев, В.П. Прогнозирование поведения строительных материалов при неблагоприятных условиях эксплуатации: учебное пособие / В.П. Ярцев, О.А. Киселева – Тамбов. Тамбовский госуд технич.ун. – 2009. –124 с. – ISBN-978-5-8265-0777-3

96. Ярцев В.П. Эксплуатационные свойства и долговечность теплоизоляционных материалов(Минеральной ваты и пенополистирола) /В.П. Ярцев, А.А. Мамонтов, С.А. Мамонтов. – М: Кровельные и изоляционные материалы. – 2013. –№1– с. 8-11.

97. Delta-TrelaPlus Идеальная мембрана для металлических крыш /ООО Дёркен [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.doerken.ru>

98. Delta-Trela объемная диффузионная мембрана /ООО Дёркен [Электронный ресурс]. –Режим доступа: <http://www.doerken.ru>– Дата обращения 02.02.2013г.

99. FRISCHMAN NALBERT [DE]; BERG RALPH [DE] Method for placing fastening element sand fastening elements used therewith (Метод размещения элементов крепления и крепежные элементы, используемые с ним) Патент EP0783063 (A1)-1997-07-09, EP0783063 (B1) – 2002-01-09,E04D3/36; E04F13/08,E04B1/00,B25B23/10; B25B11/00; Заявка: EP19960118568 20.11.1996, Также опубликовано, как: EP0783063 (B1) SI9600375 (A) DE19600132 (A1) AT211792 (T) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://worldwide.espacenet.com>– Дата обращения 11.09.2012г.

100. Патент № EP 2495378 (A2) E04D3/36,E04D5/14 «Крепежные системы и метод для герметизации фасада или крыши»/ Korhonen Tero [Электронный ресурс]. – от 04.03.2011г, опубликовано 05.09.2012 г.–Режим доступа: <http://worldwide.espacenet.com>– Дата обращения 11.09.2012г.

101. Патент EP0783063 (A1) от 04.01.1996 года и №EP0783063 (B1) от 09.01.2002 года, E04D3/36, E04F13/08; B25B11/00; E04B1/00«Метод для размещения элемента крепления и крепежных элементов, используемых с ним» (Method for placing fastening elements and fastening elements used therewith)/ Korhonen Tero [Электронный ресурс] – опубликовано 09.07.1997г. – Режим доступа: <http://worldwide.espacenet.com>– Дата обращения 11.09.2012г.

102. Патент WO9529342 (A1) E04D5/14; F16B13/08; F16B19/10 Article fixing method and fixing device (Статья метод фиксации и фиксирующее устройство)/ Также опубликовано, как: JPH07293528 (A), JPH07293529 (A)// Okawa Yoshimichi [Электронный ресурс]– Заявка: WO1995JP00748 17.04.1995. –07.11.1995. –Режим доступа: <http://worldwide.espacenet.com>– Дата обращения 11.09.2012г.

103. RHEJNZINK. Конструктивные рекомендации. /ООО Райнцинк. www.rheinzink.ru/ 2011. Техническая инфотека [Электронный ресурс]. – 13 с.– Режим доступа: www/know-house.ru/infotek. – Дата обращения 08.04.2014г.

104. RHEJNZINK. Руководство по устройству металлической кровли с применением техники фальца./ ООО Райнцинк . www.rheinzink.ru/ / 2-е издание, май 2008. Техническая инфотека [Электронный ресурс]. – 116 с.– Режим доступа: www/know-house.ru/infotek. – Дата обращения 08.04.2014г.

105. RHEJNZINK. Техника фальца. /ООО Райнцинк. Дополненное издание www.rheinzink.ru/ 2011. Техническая инфотека [Электронный ресурс]. –20 с.–Режим доступа: www/know-house.ru/infotek. – Дата обращения 08.04.2014г.

106. RHEJNZINK. Совершенная кровля. Кровельные системы. Обзор систем. /ООО Райнцинк 2010[Электронный ресурс]. – 16 с.–Режим доступа: www.rheinzink.ru/– Дата обращения 08.04.2014г.

107. TEND -негорючая строительная ткань [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tend-fr.ru>– Дата обращения 11.09.2012г.

108. Патент EP2366843 (A1) E04D3/36, E04D5/14, E04F13/08, «Device and method for fastening insulating material» (Устройство и способ для крепления изоляционных материалов)/ Van Voorden Arie. –Заявка на изобретение EP20110158271 от 15.03.2011 года, опубликовано: 21.09.2011 года; EP2366843 (A1), номер приоритетных документов NL 20102004410 С от 16.03.2010 [Электронный ресурс]. –21.09.2011– Режим доступа: <http://worldwide.espacenet.com>– Дата обращения 11.09.2012г.

109. KNAUFтермо [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://knauf-promo.ru,knauf.ru,pro100stroyka.ru>– Дата обращения 08.09.2014г.

110. URSA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ursa.ru,maxidom.ru,srbu.ru,bizspravka.su,izolaciya.ru>– Дата обращения 08.09.2014г.

111. ISOVER [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://isover.ru>,

maxidom.ru , tdgrotesk.ru, dastroy.spb.ru, PetrovichSTD.ru, izolaciya.ru– Дата обращения 08.09.2014г.

112. PAROC [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://paroc.ru,maxidom.ru,prime-snab.ru,домотдел.рф,vectorppu.ru,izolaciya.ru>

113. Rockwool [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://izolaciya.ru,maxidom.ru>– Дата обращения 08.09.2014г.

114. Polyurethane [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://poliuretan-ppu.ru,iskm.ru,spb.tiu.ru,lissant.ru>– Дата обращения 08.09.2014г.

115. Bazaltowafittings [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://armaplast-zka.ru,tepluha.ru,toparmatura.ru>– Дата обращения 08.09.2014г.

116. ЕНиР 7-14 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru>– Дата обращения 11.03.2014г.

117. Приказ № 235 от 31.05.13. Об утверждении методических рекомендаций для федеральных органов исполнительной власти по разработке типовых отраслевых норм труда/Приложение к приказу Мин. труда и соц. Защиты РФ №235 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://umocpartner.ru,base.consultant.ru>– Дата обращения 11.04.2014г.

118. ГОСТ 4.226-83 Окна, двери и ворота деревянные./Государственный стандарт качества. Система показателей качества «Строительство». [Электронный ресурс] – М.:Госстрой СССР – 1992. – Режим доступа: <http://www.cad.dp.ua>– Дата обращения 11.02.2014г.

119. Щербак Н.Н. Конструкции и тепловлажностный режим вентилируемых совмещенных крыш зданий. Устройство и приближенные методы расчета / Щербак Н.Н. – М: Журнал Кровли. – 2008. – № 1 (16) – с. 132 - 142.

120. Ушков В. А. Пожарная опасность резольных пенофенопластов и жестких пенополиуретанов / Ушков В. А. , Сокорева Е. В., Славин А. М., Орлова А. М. – М: Журнал Промышленное и Гражданское строительство. – 2014. – №5 – с. 65-68

121. Грановский А.В. Перспективы применения арматурных сеток на основе базальтового волокна в строительстве / Грановский А.В., Галишникова В.В., Берестенко Е.И. – М: Журнал Промышленное и Гражданское строительство. - 2015. –№3– с. 59-63

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А (справочное)

Справка о выполнении работ

СтройИзоляция

Общество с ограниченной ответственностью

Юр. адрес: 194100, г. Санкт-Петербург, Б.Сампсониевский пр. д.68, лит. Б, пом. 1Н, 2Н, Р/сч 40702810280000005767 Филиал ОПЕРУ ОАО Банк ВТБ в Санкт-Петербурге, г. Санкт-Петербург. ИНН 7802821460 КПП 780201001 БИК 044030704 К/сч 30101810200000000704 ОГРН 1137847134776 Тел./факс: (812) 347-86-89 +7(921)562-53-55 www.stroyizol.com, E-mail: stroyizol@inbox.ru

СПРАВКА

О выполнении работ по изготовлению партии пенополиуретановых панелей

Настоящая справка выдана аспиранту кафедры Технологии строительного производства Санкт-Петербургского архитектурно-строительного университета Розанцевой Надежде Владимировне, в том, что,

при выполнении работ по ее распоряжению, на основании совместного договора предложенных заказчиком материалов внутреннего каркаса, а также нашего сырья и была произведена партия «термопанелей» полиуретана с кажущейся плотностью 44-личестве 8(восьми) штук: три панели без фанеры, и пять панелей с внутренним фанеры и верхнее -нижним покрытием панелей со стороны заказчика не поступало. оставления в диссертационный совет в Санкт-Петербургском архитектурно-строительном	чертежам, с использованием, внешнего покрытия панелей и внутреннего оборудования, в апреле 2014 года (из жесткого мелкоячеистого пенополиуретана 55 кг/м³, группы горения Г2, в количестве внутреннего каркаса и покрытие пространственным каркасом из мембранной тканью «TEND», претворения Справка дана для представления Д.212.223.01 при Санкт-Петербургском университете.
--	---

Ген.директор ООО «СтройИзоляция»
Петров Р.А.



Приложение Б (обязательное)
Сертификат на пожарную безопасность изделия из пенополиуретана

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ (обязательная сертификация)	
№	С-RU.ПБ24.В.01302 (номер сертификата соответствия)
ТР	06889009 (учетный номер бланка)
ЗАЯВИТЕЛЬ ООО «ПК ТМТ». (наименование и место нахождения заявителя) Адрес: 152023, Ярославская область, г. Переславль-Залесский, ул. Железнодорожная, д.5а. ОГРН: 1027601047022. Телефон (485 35) 3-50-72, факс (485 35) 3-50-72.	
ИЗГОТОВИТЕЛЬ ООО «ПК ТМТ». (наименование и место нахождения изготовителя продукции) Адрес: 152023, Ярославская область, г. Переславль-Залесский, ул. Железнодорожная, д.5а. ОГРН: 1027601047022. Телефон (485 35) 3-50-72, факс (485 35) 3-50-72.	
ОРГАН ПО СЕРТИФИКАЦИИ "СтройПОЖТЕСТ" АНО "ЮРЦЭПБС". Адрес: ул.Сталиславского, д.110Б, г.Ростов-на-Дону, 344002. Тел./факс: (863) 2406598, 2214039. ОГРН: 1027601047022. (наименование и место нахождения органа по сертификации, выдающего сертификат соответствия)	
СООТВЕТСТВУЕТ ТРЕБОВАНИЯМ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности, код ОК 005 (ОКП) 22 5430, код ЕКПС, код ТН ВЭД России.	
ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА Декларация о соответствии требованиям пожарной безопасности, код ОК 005 (ОКП) 22 5430, код ЕКПС, код ТН ВЭД России.	
ПРОВЕДЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ (ИСПЫТАНИЯ) И ИЗМЕРЕНИЯ Протокол испытаний №ТР0272 "ЮРЦЭПБС", рег. № ТРПБ.РУ	
ПРЕДСТАВЛЕННЫЕ ДОКУМЕНТЫ Сертификат соответствия № С	
СРОК ДЕЙСТВИЯ СЕРТИФИКАТА СООТВЕТСТВИЯ с 06.2012 по 22.06.2015	
Руководитель (заместитель руководителя) органа по сертификации О.Е. Карпова А.С. Карпачева	
Эксперт (эксперты) М.П.	

Приложение Г (обязательное)

Справка о внедрении



ООО «Р.Т.Р.»

191167, г.С.-Петербург, ул. Александра Невского, д.9,
лит.А, оф.307. тел./факс: **(812) 274-46-31**
www.spb-rtr.ru
ИНН 7802435721 КПП 780201001 ОГРН 1089847216447
Расчетный счет 40702810102010002886
в Филиал ОАО АКБ "ЮГРА"
БИК 044030774 кор.счет 30101810900000000774
Лицензия проектная: СРО – П – 099 – 23122009
Лицензия строительная: СРО – С – 131 – 21122009

СПРАВКА

**О внедрение результатов диссертационной работы
аспиранта СПбГАСУ Розанцевой Н.В.**

Настоящая справка выдана аспиранту кафедры Технологии строительного производства Санкт-Петербургского архитектурно-строительного университета Розанцевой Надежде Владимировне, в том, что результаты ее диссертационной работы по устройству металлической кровли на основе унифицированных быстросборных элементов были (или частично использованы) использованы нашей фирмой в октябре 2014 года при установке утепленной металлической кровли на объекте строительства. Объект успешно сдан в эксплуатацию, претензий со стороны заказчиков не поступало.

Справка дана для предоставления в диссертационный совет Д.212.223.01 при Санкт-Петербургском архитектурно-строительном университете.

Генеральный директор ООО "Р.Т.Р."

«15» февраля 2015года



Брилин Максим Леонидович

Приложение Д (обязательное)
Справка о внедрении в процессе разработки



ООО «Северо-восточный транзит»

Юридический адрес: 191144, г. Санкт-Петербург ул. 8-я Советская д. 31/27 лит. А
Почтовый адрес: 191144, г. Санкт-Петербург ул. 8-я Советская д. 31/27 лит. А
ИНН 7842456894 КПП 784201001
Телефон: (812) 329-48-51, факс: (812) 329-48-53

СПРАВКА

Настоящая справка выдана аспиранту кафедры Технологии строительного производства Санкт-Петербургского архитектурно строительного университета Розанцевой Надежде Владимировне, в том, что результаты ее диссертационной работы по разработке нового метода «Технологии установки фальцевой кровли», были успешно использованы в процессе устройства рядового покрытия кровли в августе- сентябре 2013 года на объектах строительства Общества с ограниченной ответственностью «Северо-восточный транзит», претензий со стороны заказчиков не поступало.

Справка дана для предоставления в диссертационный совет Д.212.223.01 при Санкт-Петербургском архитектурно строительном университете.

Директор:



(Место для печати)

подпись

Боробинский С.А.

расшифровка подписи

Приложение Е (обязательное)

Разовый технологический регламент

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет» (СПбГАСУ)**



Утверждаю:
Главный инженер

Сидоров Н.В.

«15» октября 2014года

Утверждаю:
Проректор по научной работе
д.э.н., профессор

Е. Б. Смирнов

«15» октября 2014года



Главный технолог (начальник технического отдела)
Предприятия

Крушевский А.А.

«15» октября 2014года

Заместитель главного инженера по
технике безопасности
(начальник отдела техники безопасности)
Предприятия

Сидоров Н.В.

«15» октября 2014года

Настоящий технологический регламент разработан совместно со специалистами ооо «Разработки и внедрения технологических решений»

Данный документ регламентирует проектирование и устройство фальцевой кровли, основанной на применении унифицированных быстросборных элементов.

Технологический регламент содержит данные по физико-механическим характеристикам применяемых материалов, требования к используемым материалам, конструктивные решения кровли при новом строительстве, ремонтно-восстановительных работах, варианты установки на деревянные и металлические стропила, а также технологические приемы установки и правила техники безопасности.

Цитирование документа допускается только со ссылкой на настоящий Технологический регламент. Документ не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован, и распространен без разрешения ФГБОУ СПбГАСУ.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	180
2. Применяемые материалы для кровельного пирога	181
3. Конструктивные решения устройства утепленной фальцевой кровли	183
4. Общая последовательность технологии монтажа	184
5. Конструкция крыши и основные узлы	187
6. Контроль качества и приемка работ	192
7. Охрана труда и техника безопасности	192
8. Обеспечение пожарной безопасности	194
9. Перечень оборудования и инструментов	194
10. Характеристика объекта строительства, как источника образования отходов	195
11. Характеристика мест временного хранения строительных отходов	196
12. Содержание и обслуживание кровель	196

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Настоящий Регламент распространяется на проектирование и устройство новых кровель, а также ремонт существующих кровель в зданиях различного назначения.

1.2 Утепленные фальцевые кровли на основе дюбельной системы установки на стропила «термопанелей», с соединением их между собой в шип паз или «ступенчатое» по всем сторонам, рекомендуется устраивать в основном для двухскатных кровель с уклоном 18- 30°, но не более 45°. При таких уклонах за счет разработанной ребристой поверхности «термопанелей» образуются воздушные каналы, вентилируемые наружным воздухом, способствующие естественному удалению влаги, для интервала относительной влажности воздуха под кровлей от 55 % до 80 %. Движение воздуха в вентилируемых каналах происходит, в основном, за счет ветрового давления, а также перепада высот входных и выходных вентиляционных отверстий.

1.3 При проектировании и устройстве утепленных фальцевых кровель помимо требований настоящего регламента необходимо руководствоваться требованиями следующих нормативных документов: СНиП II-26-76 «Кровли», СП 17.13330.2011 «Кровли, актуализированная редакция II-26-76», СНиП 3.04.01-87 «Кровельные работы», СНиП 21-01-97 «Пожарная безопасность зданий и сооружений», СНиП 12-03-2001 «Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования», СНиП 12-01-2004 «Организация строительства», и т.д.

1.4 Особое внимание при проектировании и устройстве кровель должно быть уделено надежности изоляции в местах примыкания кровельного покрытия к дымоходам, водостокам, парапетам, стенам, возможной установке дефлекторов и другим, выступающим над кровлей элементам.

1.5 Работы по устройству утепленных фальцевых кровель должны выполняться специализированными бригадами под техническим руководством и контролем инженерно-технических работников. К производству работ на кровле допускаются рабочие не моложе 18 лет (на основании «Правил по охране труда при работе на высоте»), обученные технологии выполнения работ, прошедшие инструктаж по технике безопасности и медицинский осмотр, обученные действиям в случае возникновения пожара, схемам и маршрутам эвакуации.

1.6 Размещать на крыше материалы допускается только в местах, предусмотренных ППР на высоте, с применением мер против их падения, в том числе от воздействия ветровой нагрузки. Во время перерывов в работе технические приспособления, инструмент и материалы должны быть закреплены или убраны с крыши.

2 Применяемые материалы для кровельного пирога

2.1 Для установки «термопанелей» в рабочее положение, непосредственно на стропила без использования обрешётки, предлагается применять пластиковые дюбели, при этом дюбель будет предотвращать образование «мостиков холода» и регулировать усилие на сжатие. Согласно технологии используются дюбели, имеющие разметку глубины установки и усиленную конструкцию «шейки», для сквозного и предварительного монтажа, или дюбели для строительных лесов из полиамида PA6 в соответствии DIN 4420, с растягивающим усилием до 26 кН (DIN EN 10002-1: 1991-04). Например Швейцарской фирмы Mungo: Пожароустойчивость F90

Таблица-1

Название	Артикул	Диаметр дюбеля и сверла, мм	Длина, мм	Толщина прикрепляемого материала, мм	Насадка	Упаковка, шт [fs]	Количество в коробке, шт [sk]
MGD для строительных лесов	1131414	12	140	160 – 350		50 [51]	300 [32]
Универсальный фасадный дюбель MQL-ST со стопорным шурупом T30/T40	1060120	10	200	130-170	T40	50 [51]	300 [32]
Дюбель фасадный MB-ST со стопорным шурупом T30/T40	1122120-1122130	10	200-300	130-230	T40	50 [51]	300 [32]
Дюбель фасадный MB-STr со стопорным шурупом T30/ T40, нержавеющая сталь A4/316	1137220-1137230	10	200-300	130-230	T40	50 [51]	300 [32]
Дюбель фасадный MB Ø 10	1121620-1121630	10	200-300	130-230	T40	50 [41]	450 [32]

2.2 Крепежные элементы для закрепления кровельного пирога, предлагается применять с учетом использованного материала стропил, предполагаемых нагрузок на кровельное покрытие, конструктивной особенности здания и местных условий. Желательно использование крепежного элемента имеющего пластиковое покрытие головки класса прочности не ниже 8.8.-10.8 или стальных шпилек с изолирующими гайками INJ. 24, в частности модели INJ. 235 усиленной металлической вставкой, которые обеспечивают большую опорную площадь. При использовании металлических стропил, для предотвращения образования мостиков холода, используются пластиковые полиамидные винты(болты), например компании «Трайв-Комплект», которые снизу затягивается пластиковым (полиамидным) гаечным соединением, при помощи пневматического гайковерта типа Alkitronic, или используются винты имеющие пластиковое покрытие головки, закрепляемые снизу колпачковыми пластиковыми(полиамидными) гайками DIN 1587.

Таблица -2

Пластиковые материалы (термопласты) для крепежных и спецдеталей.						
Наименование	Сырьё	Плотность, г / см ³	Прочность на разрыв, Н/мм ²	Усилии на разрыв,%	Упругость, Н/мм ²	Температура применения, °С
РА 66	Полиамид 66 (ультрамид А)	85-50	1,14	40-170	3000-1900	-20/ +80-140
РС РА 66 (gfv)	Поликарбонат с 35%-ми стекловолокна	60 190-140	1,2-1,39	80-100	2000 9500-8500	-0/+130 -40/+100- 140

2.3 При небольших уклонах кровли 10°-16° для улучшения гидроизоляционных качеств кровли необходимо применить герметизацию фальцевых соединений уплотнительной лентой типа Абрис С-ЛБ.

2.4 Для контроля конденсации влаги и сохранения нижней стороны кровли от коррозии на обратную сторону металлических листов на производстве, наносят антиконденсатное покрытие из искусственной «войлочной» основы и клеевого слоя «МП» (МеталлоПрофиль) словенской фирмы FILC d.d. Menges или самоклеящееся DRIPSTOP Группа Компаний Grand Line, способное накапливать и удерживать в себе до 1 л/кв.м. влаги, служат дополнительной шумоизоляцией кровли. Материал относится к негорючему – А2-S1 (в соответствии со стандартом EN 13501)(Г1); или объемные мембраны, типа объемной дышащей мембраны Delta Trela плотностью: 380 г/м², горючесть Г2, температура эксплуатации: -40 + 80 °С, Мембраны K ROOF в г. Мытищинский Р-н, Д. Грибки, из полипропиленовых синтетических волокон, или что.

2.5 Для повышения огнестойкости на стальные конструкции наносят вспучивающиеся покрытия на основе жидкого стекла, термически расширяющегося графита и коллоидного кремнезёма, а деревянные конструкции пропитывают огнезащитным составом типа Латик КД, ВАНН-1 или антипиренами «ПП», «МС» и «МС 1:1»

2.6 При расстоянии между стропилами более 980 мм, наличии ендов, и.т.д, используют кляммеры. Максимальная длина ската, при креплении панелей неподвижными клямерами, должна быть не более 6 метров. При большей длине необходимо использовать «скользящие» клямеры. Месторасположения «скользящих» и неподвижных клямеров по длине панели принимать согласно СП 17.133330. 2011, приложение С.

2.7 Для устройства теплоизоляции, и в качестве основного несущего элемента кровельного покрытия используются высокоэффективные «термопанели» из пенополиуретана 1200 x 600 мм, имеющие верхнее – нижнее покрытие негорючей мембранной стеклотканью «TEND», внутренний пространственный каркас, соединение в «шип-паз» или со смещением и верхнюю ребристую поверхность, которая при установке плит предлагаемой конструкции дает возможность устраивать вентилируемую воздушную прослойку высотой 50 мм, способную обеспечивать нормальный температурно-влажностный режим ограждения.

Таблица 3-Технические показатели используемого пенополиуретана.

Наименование показателя	Значение
Плотность пенополиуретана в панели, кг/м ³	38–45
Коэффициент теплопроводности при 25 °С, Вт/м·К, не более	0,022-0,024
Морозостойкость, F, не менее	50
Прочность сцепления пенополиуретана с фанерой, МПа, не менее	0,3
кг/см ²	1,5
Водопоглощение за 24 часа, при насыщении водой, %, не более	2
Разрушающее напряжение при изгибе, МПа, не менее	0,35
Паропроницаемость мг/(м·ч·Па)	0,05
Пожаростойкость	Г2

2.8 В кровлях имеющих ендовы, трубы, мансардные окна, и других случаях возможного перекрытия вентиляционных каналов, используют дополнительные дефлекторы.

2.9 Для фальцевых панелей металлической кровли используется рулонная оцинкованная сталь, или штрипс, 08 ПС ГОСТ Р 52246-2004 , толщина металла, из которого прокатывают фальцевую кровлю, должна быть не менее 0,5 мм – 0,60 мм. Фальцевые панели изготавливаются непосредственно на строительной площадке по рулонной технологии на всю длину ската на станке МОБИПРОФ. Панели крепятся или при помощи дюбельной системы или на клямерное крепление.

3 Конструктивные решения устройства утепленной фальцевой кровли

3.1 Стропильная система зависит от конструкции и длины ската кровли, и в каждом проекте разрабатывается индивидуально, сравнительно небольшие пролеты перекрываются при помощи стропильных ног, расположенных на расстоянии 800- 1200 см одна от другой, при установке стропил сначала укладывают мауэрлат.

3.2 Материалы для стропильных ног: деревянный брус из хвойных пород шириной 10 –15 см с влажностью не более 20%, клееный брус, легкие стальные каркасы, на основе холодногнутого тонкостенного оцинкованного металлического профиля для кровель, металлические стропила П-образного профиля.

3.3 Для стропил и других несущих элементов кровли применяют древесину по ГОСТ 8486-88 и ГОСТ 24454-80, из стали ГОСТ 23118-99 или термопрофиль холоднокатаный П-, С – образного профиля листовой оцинкованной стали с просечкой или без неё толщиной 0,8 мм – 3мм, высотой 120 мм, 150 мм, 170 мм, 200 мм, 280 мм стале марок С235 и С345 по ГОСТ 27772–88.

3.4 Несущую способность стропил рассчитывают на конкретные нагрузки в соответствии с требованиями СНиП 2.01.07-85.

3.5 Установочные отверстия в стропилах под дюбельную систему крепления должны быть заранее высверлены, в заводских условиях, дюбеля устанавливаются в стропила в наземном положении, перед поднятием на кровлю.

3.6 Вертикальные поверхности выступающих строительных конструкций и парапетов, выполненных из кирпича, пеноблоков и т.п. штучных материалов, должны быть оштукатурены цементно-песчаным раствором М 150 на высоту заведения края кровельного покрытия, но не менее чем на 500 мм.

4 Общая последовательность технологии монтажа

Перед применением материалов проводят проверку наименований и марок на соответствие проекту; качество материалов - на соответствие требованиям технических условий. Подготавливают необходимый инструмент и инвентарь.

Основой технологии является дюбельная технология установки унифицированных «термопанелей» вручную. Дюбельная система крепления применима как с наслонными стропилами, так и стропильными фермами, как для «холодных» кровель, так и кровлей с условием теплого чердака.

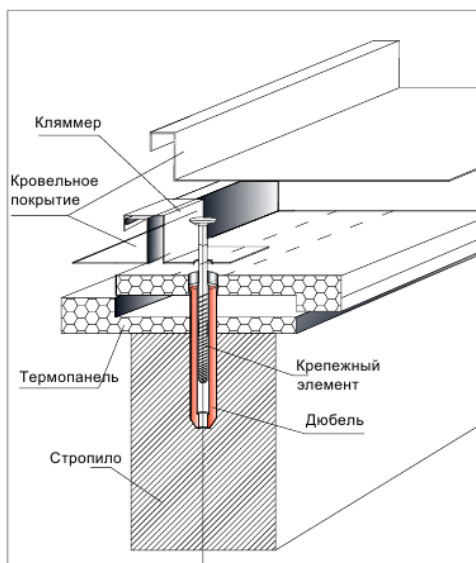


Рисунок 1 Способ крепления кровельной конструкции

До начала установки, предварительно высверливают установочные отверстия в стропилах, а также, при технологии с «клик-фальцем», во время прокатки в металлических листах пробиваются просечки для быстрого монтажа. Первоначально в стропила устанавливают дюбеля и закрепляют стропила на кровле, на дюбеля устанавливаются «термопанели», на которые укладывают кровельные листы и закрепляют крепежным элементом, имеющим пластиковое покрытие головки.

В случае использования металлических стропил, чтоб избежать появления «мостиков холода», предлагается использовать крепежные элементы из полиамидного (пластикового) материала, которые снизу затягиваются пластиковым (полиамидным) гаечным соединением, при помощи пневматического гайковерта типа Alkitronic, или используются винты имеющие пластиковое покрытие головки, закрепляемые снизу колпачковыми пластиковыми (полиамидными) гайками.

Соединение остается герметичным, т.к. сверху накрывается следующим кровельным листом. Между собой стальные листы крепятся на двойной стоячий или самозащёлкивающийся фальц с уплотнителем.

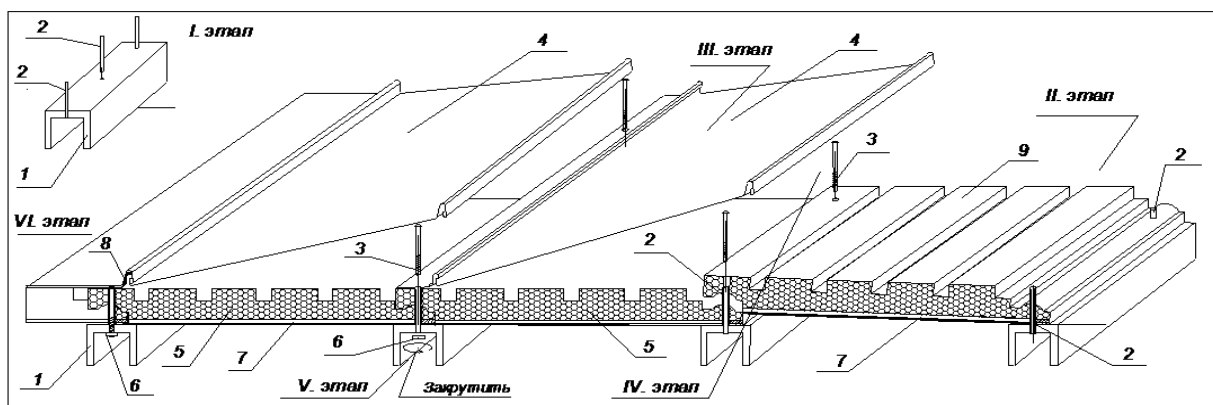
Изготовление панелей-картин осуществляется непосредственно на стройплощадке с применением мобильного кровельного оборудования, типа станков МОБИПРОФ СФП-1250 и СФПЗ. В зависимости от необходимости, производят картины нескольких видов: с двойным фальцем, с самозащелкивающимся фальцем, с гвоздевой полосой.

При расстоянии между стропилами до 900 мм возможно отказаться от кляммерного крепления, только используя дюбеля и крепежные элементы, а когда температурные перемещения листа весьма значительны, в кровлях имеющих ендовы, трубы, мансардные окна, используют кляммерное крепление.

Работы организованы поточным методом с непрерывным освоением фронтов, с учетом запрета проведения кровельных работ в ночное время.

Наиболее рационально проводить технологический процесс укладки «термопанелей» горизонтальным способом захваток, с лева направо и от свеса к коньку, устанавливая первую термопанель в крайний нижний левый угол, а установку кровельного покрытия начинать с подшивки свеса правого угла здания и двигаться в лево, и соответственно от правого угла, от конька к свесу укладывать кровельный лист.

Рисунок-2 Последовательность операций в строительном технологическом процессе установки фальцевой кровли на основе унифицированных быстросборных элементов

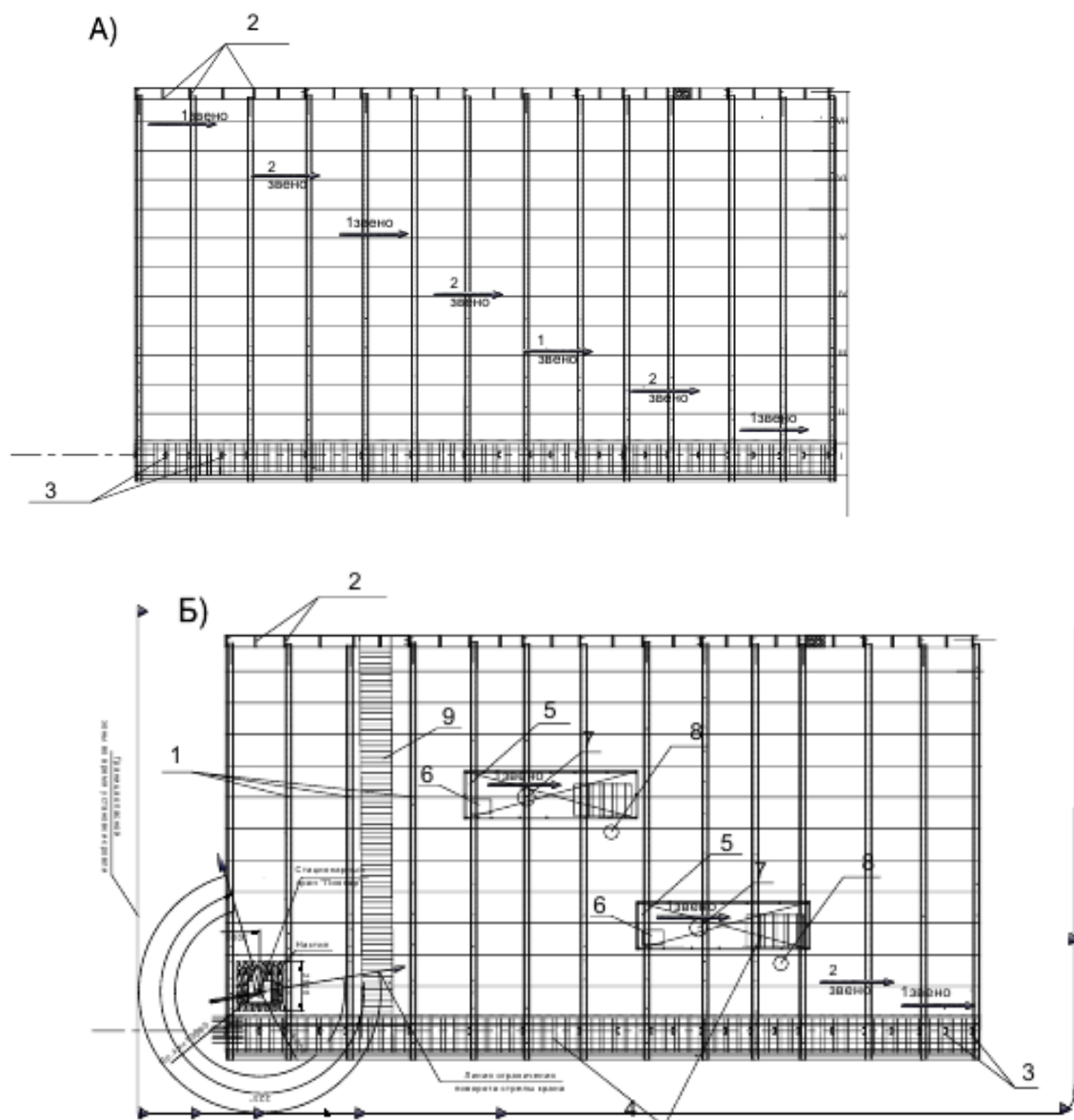


I этап- постановка дюбелей в стропила и установка стропил в рабочее положение ведут "маячковым" способом - вначале устанавливают крайние стропила, а затем промежуточные. Правильность положения крайних стропил проверяют уровнем, а промежуточных - рейкой и шаблоном; *II этап*-установка «термопанелей», имеющих «ступенчатое» соединение по всем сторонам, что обеспечивает непрерывный изоляционный слой без образования «мостика холода»; *III этап*-установка кровельных листов; *IV-V этап*- установка крепежных элементов и скрепление ими кровельного пирога, при установке кровельных картин кляммерным способом, на дюбель надевают кляммер; *VI*- закрытие фальцевого соединения.

1- Стропило, 2- Дюбель-распорка, 3- Крепежный элемент, 4- Кровельный лист, 5- Термопанель, 6- Гайка, 7- Каркас из фанеры, 8- Уплотнитель, 9- Ветро- влагозащитная мембрана

Второе звено начинает работу с промежутком времени в 15-20 минут, что обеспечивает каждому звену необходимый фронт работ, а технологические разрывы по времени между операциями на соседних захватках минимальны. Это обусловлено специфичностью укладки «термопанелей» (перекрывание вышележащими листами нижележащих и верхними рядами нижних)

Рисунок-3 Укладка «термопанелей» по способу горизонтальных захваток



а) Схема разбивки ската на горизонтальные захватки: 1, 2 — номера звеньев; I, II, III, IV, V, VI, VII — номера захваток;

б) Рабочее место в зоне укладки покрытия: 1 — стропило, или стропильная ферма; 2 — коньковый брус; 3 — мауэрлат, 4 — «термопанели», 5 — передвигаемые телескопические подмости с ограничительным бортиком, 6 — ящик с инструментами и крепежными приборами; 7 — звеньевой; 8 — подручный; 9 — ходовые доски; 10 — кран типа «Пионер»

Максимальная эффективность монтажа достигается при максимальной длине ската до 12 м и минимальном количестве торцевых краев. Торцевые края должны перекрывать примыкающие картины минимум на 150 мм и соединяют их вместе пластиной, соединительной накладкой и специальным герметиком.

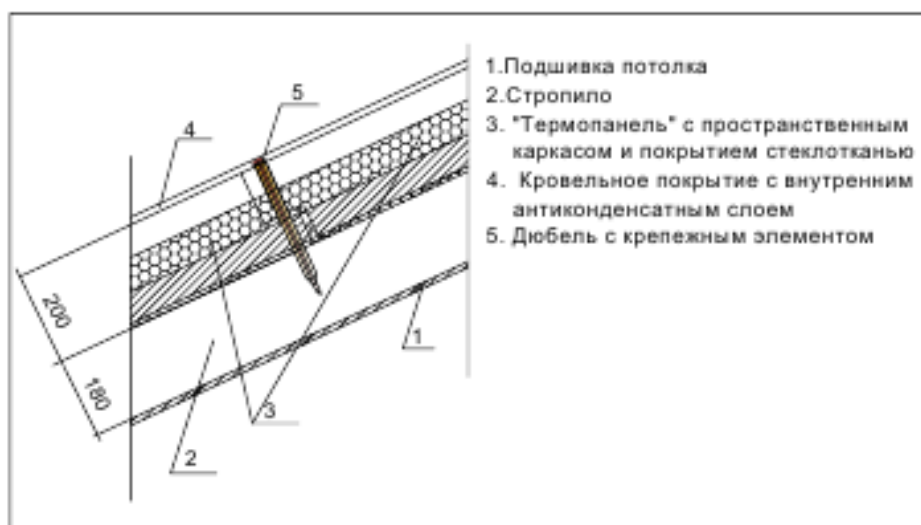
Резка фальцевых панелей и комплектующих отрезными и углошлифовальными машинками («болгарками») допускается только при условии защиты необрабатываемых участков и антикоррозийной окраской среза мест среза.

5 Конструкция крыши и основные узлы:

5.1 Устройство кровельного пирога из следующих слоев последовательно по направлению от тёплого помещения к холодному наружному воздуху:

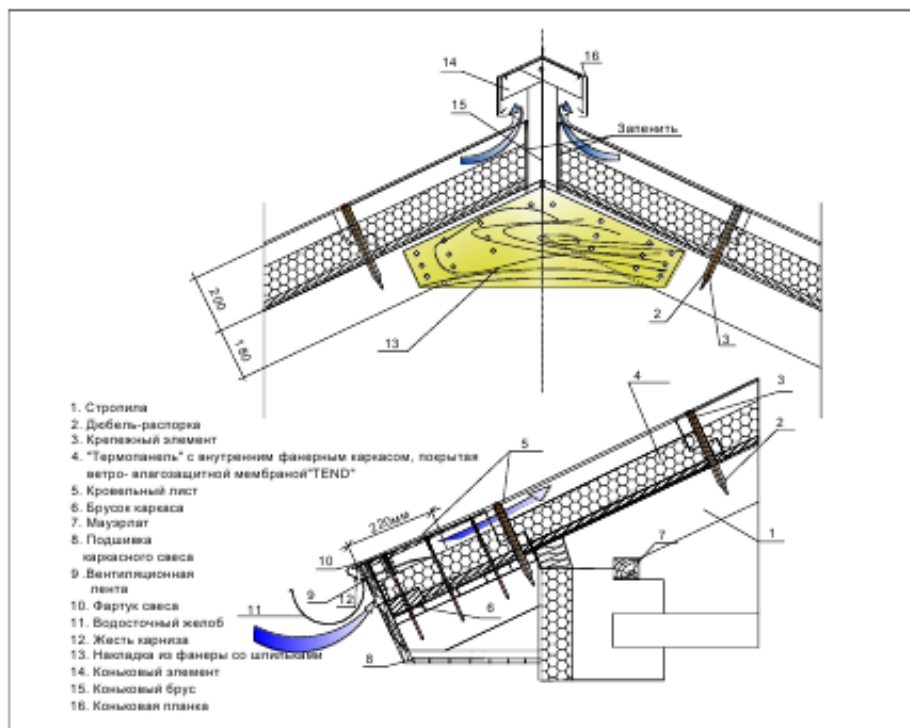
- Внутренняя обшивка. Используется в случае мансардных кровель. Как правило, листовые материалы (гипсокартон) или вагонка.
- «Термопанели», из пенополиуретана, имеющие внутренний пространственный каркас и внешнее покрытие стеклотканью или мембранной тканью «TEND», и образующие за счет своей верхней ребристой поверхности вентиляционные каналы высотой 5 см.
- Кровельное покрытие. Из рулонной оцинкованной стали или штрипса толщиной не менее 0,6 мм с внутренним антиконденсатным покрытием из искусственной «войлочной» основы и клеевого слоя «МП».

Рисунок-4 Устройство кровельного пирога мансардного этажа



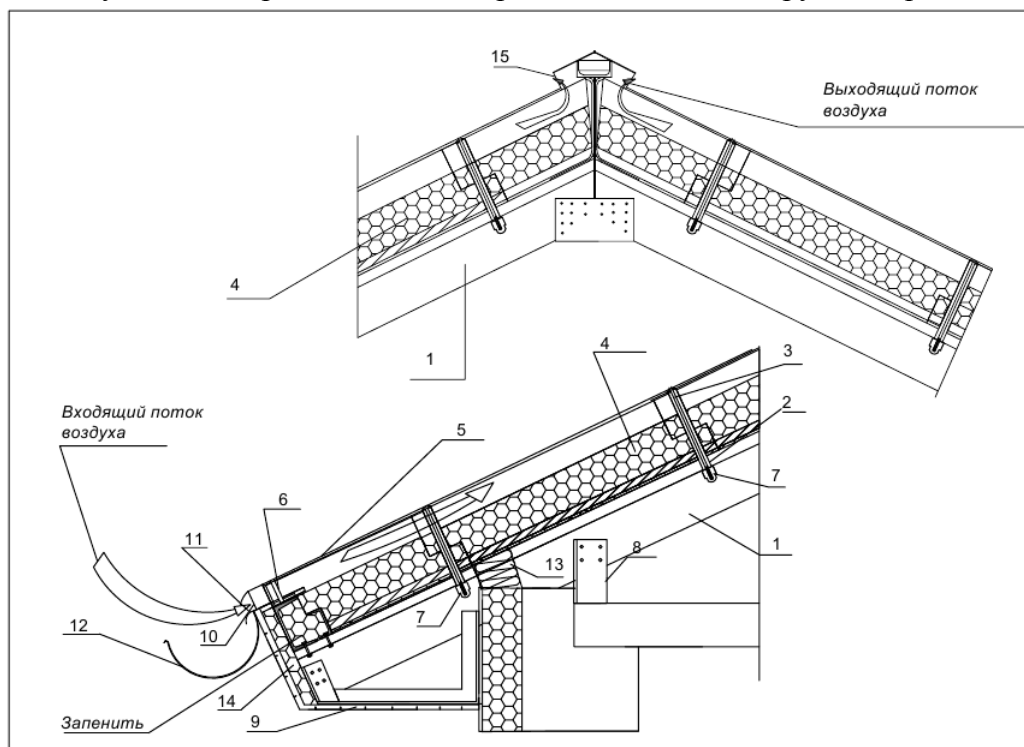
5.2 Конструкция карнизного свеса на деревянных стропилах

Рисунок —5



5.3 Конструкция карнизного свеса на металлических стропилах

Рисунок — 6 Карнизный свес закрытого типа вентилируемой кровли



1-стропило, 2- дюбель-распорка, 3-крепежный элемент, 4- «Термо»панель, 5- металлический лист, 6- крепежная петля, 7- гайка колпачковая пластиковая, 8- мауэрлат, 9- подшивка свеса из ПВХ, 10- вентиляционная лента, 11- фартук свеса, 12- водосточный желоб, 13- элемент утепления, 14- утепляющая прослойка.

Фронтонная часть металлических стропил, во избежание появления «мостиков холода» и, как следствие, конденсата должна быть обязательно утеплена. (Рисунок 6)

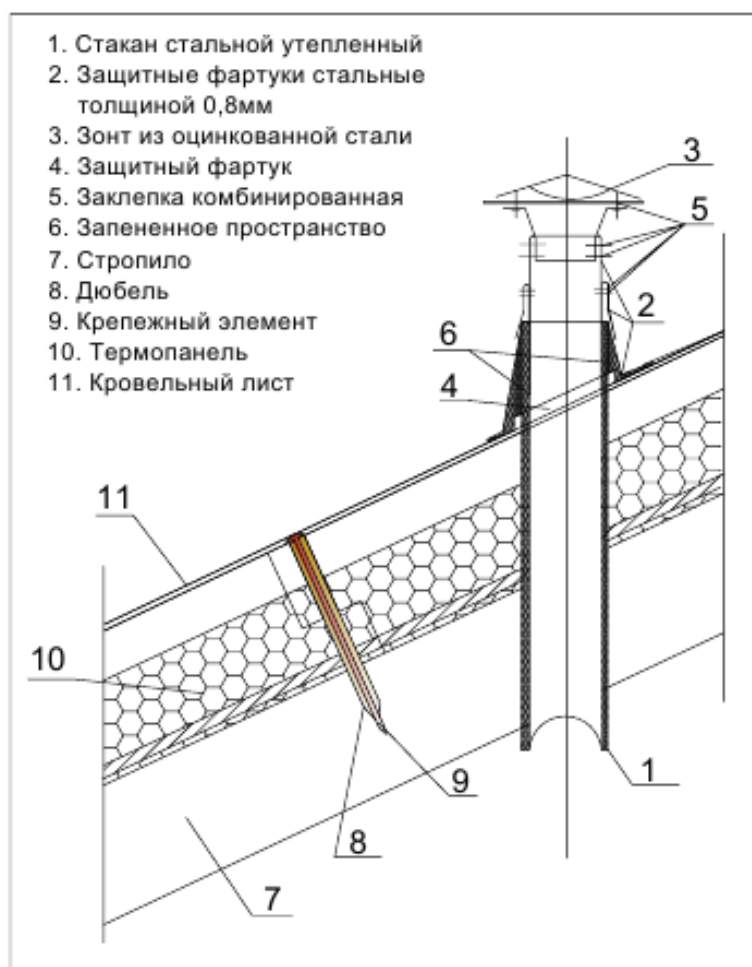
Использование в качестве подконькового уплотнения монтажной пены категорически запрещается.

Оптимальным будет считаться длина ската с карнизным свесом от 6 до 9 метров, с разницей высот от ската до конька до 3 метров.

Данная технология применима для зданий не выше 5 этажей, и должна соответствовать степени огнестойкости здания.

5.4 Примыкание кровли к дымовой трубе

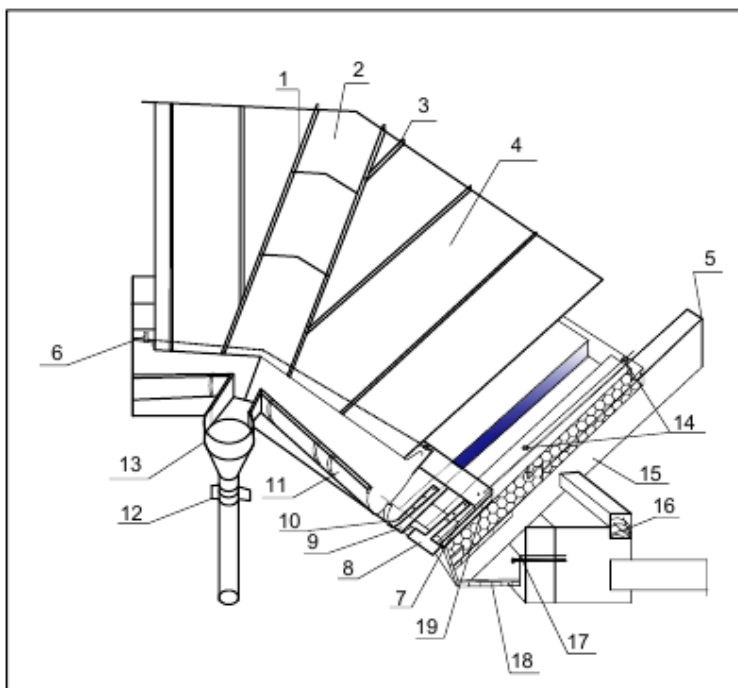
Рисунок —7



До монтажа кровельного покрытия вокруг кирпичной трубы, на скате кровли со стороны конька, за трубой следует устанавливать разжелобок, который направляет сток воды в две стороны от трубы.

При использовании металлических или асбестоцементных дымовых труб на них должен быть предусмотрен защитный кожух, с теплоизоляцией из материала категории горючести НГ по ГОСТ 30244(Рисунок 7).

5.5 Устройство свеса и наружного водостока



Рисунок— 8 Схема устройства разжелобка

1 - фальц лежащий; 2 - картина разжелобка; 3 - фальц гребневой; 4 - картина кровельная; 5 - нога стропильная; 6 - кляммер; 7 - настил карнизный; 8-костыль; 9 - картина карнизного свеса; 10 - крюк для желоба; 11 - картина желоба; 12 - хомут; 13 -воронка водоприемная.

Для обеспечения организованного водостока применяют системы, состоящие из желобов и водосливных труб. При проектировании системы для отвода дождевой воды следует учитывать:

- Интенсивность и количество выпадающих осадков,
- Площадь кровли,
- Размеры водосточных труб,
- Место расположения водосточных труб.
- Между двумя коленами водосточного стояка, обязательно устанавливают прямой отрезок трубы, длиной не менее 60 мм.

До монтажа кровельного покрытия необходимо выбрать тип крепления желобов: необходимо учесть, что в результате температурных колебаний водосточные желоба, как и кровельные картины способны изменять свои размеры, следовательно они должны перемещаться в кронштейнах.

На карнизах поверх «термопанелей» крепят сплошное основание. Металлические длинные кронштейны монтируются на кобылки, закрепляемые к укрепленной линии ската или лобовую доску.

Оба крайних кронштейна устанавливают на расстоянии 150 мм от краев карниза, и рядом с предполагаемым местом воронки, натягивают шпагат между наружными концами крайних кронштейнов, остальные кронштейны устанавливают с шагом не более 1200 мм.

На карнизах кровли устанавливают металлические карнизные планки (капельники), а на торцевые части фронтоновые планки с нахлестом до 20- 50 мм.

6 Контроль качества и приемка работ

6.1 Для устройства утепленных фальцевых кровель необходимо: применять качественные кровельные материалы, имеющие сопроводительные паспорта(или сертификаты);

– Контроль качества работ по устройству утепленных фальцевых кровель выполняется поэтапно с проведением входного и пооперационного контроля и активированием скрытых работ. Пооперационный контроль выполняется мастером: качество поступивших материалов, этап подготовки, этап установки, прочность установки, соблюдение заложенных параметров, интервалы времени, расход.

– Приемка кровельного покрытия сопровождается тщательным осмотром его поверхности, стыковочные узлы, особенно примыканий с выступающими элементами, карнизного свеса, конькового элемента, а также кромок кровельного покрытия по всему периметру. Уклоны должны соответствовать проекту. Все обнаруженные дефекты и отклонения элементов кровли от проекта должны быть устранены до сдачи кровли в эксплуатацию.

– Приемка выполненной кровли должна быть оформлена актом сдачи-приемки с оценкой качества работ. При приемке актами кровельных работ свидетельствуются: примыкания кровельного покрытия.

– Уложенное кровельное покрытие должно отвечать требованиям: отклонения величины фактического уклона от проектного не должно превышать ± 5 мм, покрытие не должно иметь вогнутостей, нестыковок и расслоений.

– Водонепроницаемость кровельного покрытия следует проверять после сильного дождя или заливкой водой при положительных температурах,

– После завершения всех кровельных работ необходимо выполнить требования экологической чистоты: остатки и обрезки материалов, а также пустая тара должны быть тщательно упакованы, уложены в контейнеры и спущены с кровли, а затем вывезены в специально отведенные зоны.

7 Охрана труда и техника безопасности

7.1 Ответственность за соблюдение требований ТБ при производстве монтажных работ возлагается на инженерно-технических работников строительно-монтажной организации.

7.2 Работы по устройству кровельных покрытий должны выполняться с соблюдением СНиП 12-03-2001 «Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования», СНиП 12-01-2004 «Организация строительства» и СНиП III-4-80 «Техника безопасности в строительстве».

7.3 К выполнению работ допускаются рабочие не моложе 18 лет, прошедшие медицинский осмотр. Обучение и имеющие удостоверение.

7.4 До начала производства работ каждый рабочий должен пройти вводный инструктаж по технике безопасности. А также производственный инструктаж непосредственно на рабочем месте.

7.5 Рабочие должны быть обеспечены спецодеждой, спецобувью и средствами индивидуальной защиты.

7.6 Допуск рабочих на объект разрешается только после осмотра мастером совместно с бригадиром исправности и целостности несущих конструкций и ограждений. При отсутствии ограждений работы следует выполнять с применением предохранительного пояса, при этом места закрепления карабина должны быть указаны в проекте производства работ.

7.7 При производстве работ запрещается курить и применять открытый огонь! В случае возгорания использовать углекислотный огнетушитель и песок, которые должны входить в комплект находящихся на рабочем месте противопожарных средств.

7.8 Материал на крыше, непосредственно в зоне выполнения работ, заготавливается в количестве, достаточном для работы бригады в течение 1 ч, чтобы на рабочем месте не скапливались его излишки; в дальнейшем запас непрерывно пополняется. Общее количество материала не должно превышать сменной потребности. Подъем на крышу готовых кровельных картин осуществляется в специальных контейнерах. Материал хранится на крыше в одном месте (около подъемника) и к рабочему месту кровельщиков подается по мере надобности. Для приема их на крышу у крана устанавливается инвентарная сборно-разборная площадка (рис. 1, а) и легкая подставка для складывания листов (рис. 1, б).

7.9 Остальной материал должен храниться отдельно в специально отведенном месте с соблюдением норм пожарной безопасности.

7.10 Место производства работ должно быть обеспечено следующими средствами пожаротушения и медицинской помощи:

Таблица 4

Огнетушитель углекислотный из расчета на 500м ² , не менее	2шт.
Ящик с песком емкостью 0,5 м ²	1шт
Лопата	2шт.
Асбестовое полотно	3м ²
Аптечка с набором медикаментов	1шт.

8 Обеспечение пожарной безопасности

8.1. Стропила чердачных покрытий в соответствии с требованиями нормативных документов допускается выполнять из горючих материалов;

8.2. Согласно п. 1.8 СНиП 2.01.02-85 в общественных зданиях всех степеней огнестойкости (I-V), стропила следует подвергать огнезащитной эффективной обработке согласно НПБ 251-98 «Огнезащитные составы для древесины»

8.3. Согласно п. 1.11 СНиП 31-01-2003 в жилых зданиях степеней огнестойкости «II-V) стропила следует подвергать огнезащитной обработке в соответствии с классом конструктивной пожарной опасности (по СНиП 21-01-97*).

8.4. Согласно п. 1.22* СНиП 2.09.04-87* в административных и бытовых зданиях степеней огнестойкости (II-V), стропила следует подвергать огнезащитной обработке в соответствии с классом конструктивной пожарной опасности.

8.5. Согласно п. 7.1* СНиП 31-03-2001 в производственных зданиях огнезащитную обработку производят в соответствии с категорией класса конструктивной пожарной опасности.

8.6. Согласно п. 6.1 СНиП 31-04-2001 в складских зданиях стропила подвергают обработке согласно степеней огнестойкости.

8.7. Административные и бытовые здания п. 2.2. СНиП 2.09.01-89*, общественные и жилые здания п. 1.1.3. СНиП 2.08.01-89*, I, II, III степени огнестойкости допускается надстраивать одним мансардным этажом с несущими элементами, имеющими предел огнестойкости не менее R45, класс пожарной опасности КО. При этом для административных и бытовых зданий - не выше 10 этажей, для жилых зданий - не зависимо от высоты здания, но не выше 75 м.

8.8. Деревянные и металлические конструкции крыши должны предусматривать конструктивную огнезащиту, обеспечивающую требования огнестойкости и пожарной опасности.

9 Перечень оборудования и инструментов

Таблица 5 – Ведомость материально-технических ресурсов

Наименование	Марка, ГОСТ	Кол-во	Назначение
Кран	«Пионер»	1	
Строп 4-х ветвевой		1	
Вилочный захват	ПКБ Минсель-строя БССР	4	
Инвентарные шарнирно-панельные, и телескопические переставные подмости	р.ч. 2Н 271	2	
Приставная лестница с площадкой ПИ Промстальконстр.	р.ч. 2Н282	2	
Шаблон для кладки дымовых и вентиляционных каналов	р.ч. 2Н290	2	
Шнур причальный	ТУ22-3527-7	2	
Ограждение инвентарное	р.ч. Н288	120	

Продолжение таблицы 5

Наименование	Марка, ГОСТ	Количество	Назначение
Кельма типа КБ	ГОСТ 9533-71		
Молоток-кирочка	ГОСТ11042-72	4	
Расшивка РВ	ГОСТ12803-67	4	
Кувалда КБ-59039	ГОСТ11401-65	4	
Лом монтажный	ГОСТ 1405-72	2	
Лопата совковая	ГОСТ 3620-76	2	
Теодолит	2Т-30	1	
Нивелир с рейкой	НП-10	1	
Метр складной металлический		2	
Рулетка измерительная	РС-20	1	
Отвес стальной строительный	ГОСТ 7211-72	2	
Уровень строительный	УС-1-300	4	
Правило дюроалюминиевое	НИИСП Госстроя УССР	4	
Рейка контрольная	КЛ 57-021	4	
Плоскогубцы		4	
Ручные ножницы по металлу		4	
Эл.высечные ножницы		2	
Дрель		1	
Фальцевзакаточная машинка «МОБИПРОФ»		1	
Средства индивидуальной защиты		8	

10 Характеристика объекта строительства, как источника образования отходов

10.1. Источники образования отходов

Источниками образования отходов в период строительства будут следующие технологические процессы:

- транспортировка, разгрузка и хранение стройматериалов;
- возведение кровельного покрытия;
- жизнедеятельность людей занятых в процессе строительства объекта

10.2. Виды отходов, образующихся при строительстве объекта

В процессе выполнения работ на строительном объекте ожидается образование следующих отходов:

- Лом стальной несортированный;
- Отходы «термопанелей»;
- Отходы антиконденсатного покрытия и уплотнительной изоленды;
- Остатки дюбелей и крепежных элементов;
- Древесные отходы из натуральной чистой древесины несортированные
- Мусор строительный, в том числе и полиэтиленовые упаковочные пленки;
- Песок, загрязненный бензином (количество бензина менее 15 %);
- Мусор от бытовых помещений организаций несортированный (исключая крупногабаритный);
- Отходы (осадки) из выгребных ям и хозяйственно-бытовые стоки

10.3. Расчет количества образования отходов производства и потребления

Расчет количества отходов производства и потребления выполнен на основании:

Ведомости потребности в основных строительных материалах, включенных в состав Проекта организации строительства (ПОС).

Класс опасности отходов устанавливается по степени возможного вредного воздействия на окружающую природную среду (далее - ОПС) при непосредственном или опосредованном воздействии опасного отхода на ней в соответствии с «Критериями отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды».

11 Характеристика мест временного хранения строительных отходов

Строительный объект не является источником образования отходов, не зарегистрированных в Федеральном Классификационном Каталоге Отходов.

Захоронение вредных веществ и отходов производства и потребления на территории застройки не производится.

На объекте образования отходов строительства допускается лишь временное хранение (складирование) заявленных в настоящем Проекте технологического регламента отходов, в специально оборудованных для этого местах, с соблюдением действующих экологических, санитарных, противопожарных норм и правил техники безопасности, а также способом, обеспечивающим возможность беспрепятственной погрузки каждой отдельной позиции отходов строительства на автотранспорт для их удаления (вывоза) с территории объекта образования.

Сбор отходов в период строительства осуществляется на объектах их образовании отдельно по совокупности позиций, имеющих единое направление использования. Допускается ручная сортировка образующихся отходов строительства при условии соблюдения действующих санитарных норм, экологических требований и правил техники безопасности.

Для временного хранения образующихся строительных отходов, на строительной площадке предусмотрено 2 места временного хранения отходов, на которых установлен металлический контейнер объемом 20 м³.

Для сбора бытовых отходов необходимо предусмотреть наличие отдельного контейнерного на хозяйственной площадке, что позволит обеспечить своевременный вывоз бытовых отходов – 1 раз в три дня в холодное время года и ежедневно в теплое время года.

Для сбора бытовых отходов в период строительства объекта, с учетом возможного предельного срока накопления отходов 3 дня, достаточно одного металлического контейнера объемом 1 м³.

12 Содержание и обслуживание кровель

12.1 Предохраняйте кровельное покрытие от механических повреждений. Острые края посторонних предметов могут привести к его повреждению особенно при падении на кровельное покрытие.

12.2 Не допускайте замусоривания кровельного покрытия. Посторонние предметы и мусор следует удалять во время профилактических обследований кровли.

12.3 Кровельное покрытие предусматривает ограниченное передвижение по нему обслуживающего персонала, или прокладку пешеходных дорожек.

12.4 Для реализации потенциальных возможностей металлических кровель и продления их срока службы без капитального ремонта следует выполнять необходимый перечень мероприятий по обслуживанию, который включает:

- Техническое обследование кровель и систему осмотров.
- Периодическую очистку кровли от загрязнений и снега.
- Своевременное устранение мелких дефектов гидроизоляции.
- Организацию надлежащего контроля за доступом на кровлю.

12.5. Техническое обследование кровель и система осмотров.

Система осмотров включает проведение плановых и, при необходимости-внеочередных осмотров. Плановые обследования проводят, как правило 4 раза в год: весной, летом, осенью и зимой. Особое внимание при этом должно уделяться местам сопряжения кровельного пирога с различными конструкциями крыши, одновременно проверяется отсутствие протечек путем осмотра потолков помещений расположенных под крышей.

При весенних, летних и осенних обследованиях особое внимание уделяется замусориванию водостоков.

При зимних обследованиях- толщина слоя снега, степени его подтаивания. При необходимости очистки кровель от снега следует использовать деревянные или пластиковые лопаты, оставляя при этом слой снега толщиной 5-10 см. Категорически запрещается применение стальных лопат и ломов при очистке кровель от снега.

Выявляется также возможность образования ледяных пробок в водоприемных воронках и наземных выпусках водосточных труб.

При установке на кровле аэраторов следует исключить возможность попадания талой воды в вентиляционную трубу аэратора. Для этого следует периодически очищать от снега область вокруг аэратора на глубину не менее 10 см от верхнего края вентиляционной трубы.

Крыши с наружным водоотводом необходимо периодически очищать от снега, не допуская накопления его слоем более 30 см. При оттепелях снег следует сбрасывать и при меньшей толщине.

Наиболее полное представление о состоянии гидроизоляционного покрытия можно получить летом. При этом следует обращать внимание:

- на сохранность кровли на основной площади покрытия,
- на места примыкания к выступающим конструкциям.
- на состояние водоотводящих устройств и места их примыкания к кровельному покрытию.

Внеочередные осмотры следует проводить после сильных ветров, ливней и обильных снегопадов. Результаты осмотров кровли следует фиксировать в специальном журнале.

Приложение Ж (рекомендуемое)
Отчет о проведении термических испытаний разработанной «термопанели»

Новый отчет



Фирма	СПбГАСУ ИЦ "БЛОК"	Телефон: +7 921 944-10-13
	2-ая Красноармейская, д.4.	Электронн tdatsuk@mail.ru
	Санкт-Петербург	ая почта:

Прибор	testo 882	Серийный 2203224
		№:

Заказчик	Место измерения:
-----------------	------------------

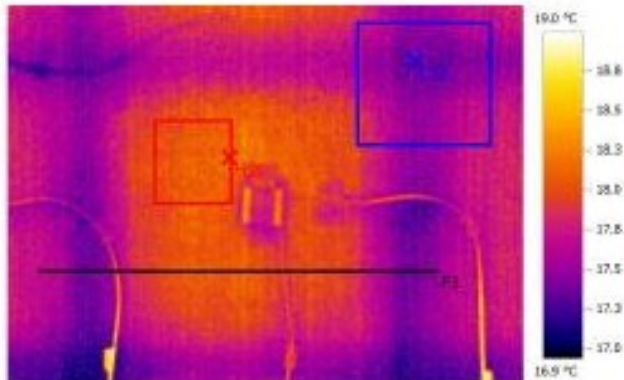
Заказ

Файл: IV_01417.BMT

Дата: 21/10/2014

Тип
объектива: Стандартный 32°Серийный номер
объектива: 20284339

Время: 21:27:08



Параметры изображения:

Коэффициент излучения: 0.94

Отраж. темп. [°C]: 20.0

Выделение изображений:

Измеряемые объекты	Темп. [°C]	Излуч.	Отраж. темп. [°C]	Примечания
Самая холодная точка 1	17.2	0.94	20.0	-
Самая теплая точка 1	18.3	0.94	20.0	-

Линия
профиля:

Минимум: 17.3 °C Наименьш: 18.2 °C Среднее значение: 17.8 °C

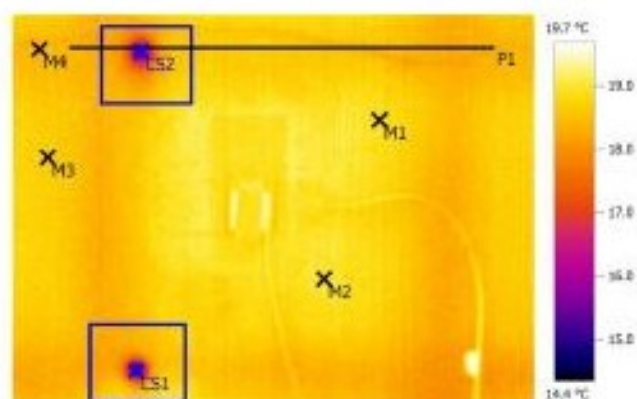


Файл: IV_01418.BMT

Дата: 21/10/2014

Тип
объектива: Стандартный 32°Серийный номер
объектива: 20284339

Время: 21:30:41



Параметры изображения:

Коэффициент излучения: 0.94

Отраж. темп. [°C]: 20.0

Выделение изображений:

Измеряемые объекты	Темп. [°C]	Излуч.	Отраж. темп. [°C]	Примечания
Точка измерения 1	18.9	0.94	20.0	-
Точка измерения 2	19.0	0.94	20.0	-
Точка измерения 3	18.7	0.94	20.0	-
Точка измерения 4	18.5	0.94	20.0	-
Самая холодная точка 1	14.4	0.94	20.0	-
Самая холодная точка 2	14.9	0.94	20.0	-

Линия
профиля:

Файл: IV_01419.BMT

Дата: 21/10/2014

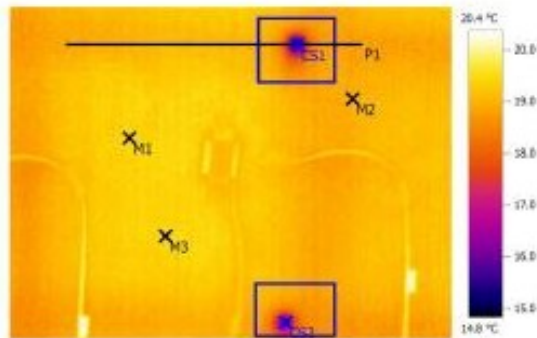
Тип Стандартный 32"

Серийный номер 20284339

Время: 21:32:03

Объектива:

Объектива:



Параметры изображения:

Коэффициент излучения: 0.94

Отраж. темп. [°C]: 20.0

Выделение изображений:

Измеряемые объекты	Темп. [°C]	Излуч.	Отраж. темп. [°C]	Примечания
Точка измерения 1	19.6	0.94	20.0	-
Точка измерения 2	19.0	0.94	20.0	-
Точка измерения 3	19.4	0.94	20.0	-
Самая холодная точка 1	14.8	0.94	20.0	-
Самая холодная точка 2	15.7	0.94	20.0	-

Линия
профиля:

Файл: IV_01420.BMT

Дата: 21/10/2014

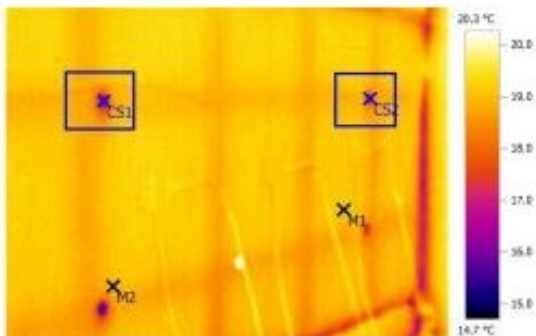
Тип Стандартный 32"

Серийный номер 20284339

Время: 21:33:07

Объектива:

Объектива:



Параметры изображения:

Коэффициент излучения: 0.94

Отраж. темп. [°C]: 20.0

Выделение изображений:

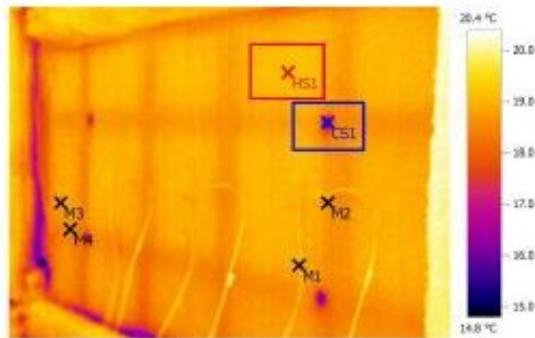
Измеряемые объекты	Темп. [°C]	Излуч.	Отраж. темп. [°C]	Примечания
Точка измерения 1	19.0	0.94	20.0	-
Точка измерения 2	18.9	0.94	20.0	-
Самая холодная точка 1	15.6	0.94	20.0	-
Самая холодная точка 2	16.8	0.94	20.0	-

Файл: IV_01421.BMT

Дата: 21/10/2014

Тип Стандартный 32°
объектива:Серийный номер 20284339
объектива:

Время: 21:34:32



Параметры изображения:

Коэффициент излучения: 0.94

Отраж. темп. [°C]: 20.0

Выделение изображений:

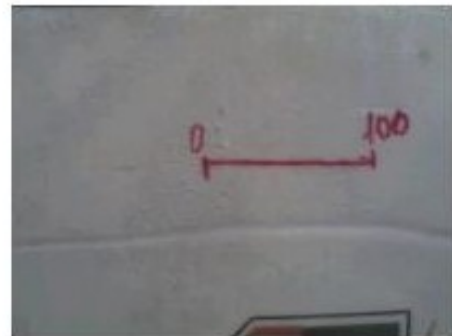
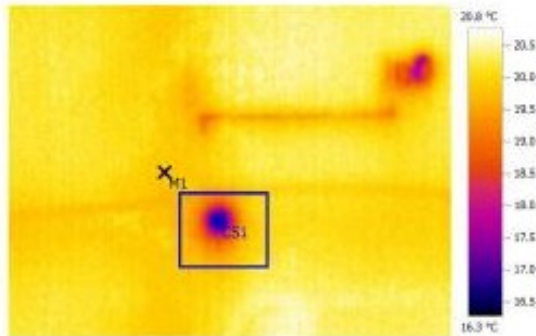
Измеряемые объекты	Темп. [°C]	Излуч.	Отраж. темп. [°C]	Примечания
Точка измерения 1	18.8	0.94	20.0	-
Точка измерения 2	18.6	0.94	20.0	-
Точка измерения 3	18.8	0.94	20.0	-
Точка измерения 4	18.4	0.94	20.0	-
Самая холодная точка 1	15.0	0.94	20.0	-
Самая теплая точка 1	19.4	0.94	20.0	-

Файл: IV_01422.BMT

Дата: 21/10/2014

Тип Стандартный 32°
объектива:Серийный номер 20284339
объектива:

Время: 21:40:27



Параметры изображения:

Коэффициент излучения: 0.94

Отраж. темп. [°C]: 20.0

Выделение изображений:

Измеряемые объекты	Темп. [°C]	Излуч.	Отраж. темп. [°C]	Примечания
Точка измерения 1	19.9	0.94	20.0	-
Самая холодная точка 1	16.3	0.94	20.0	-



Новый отчет

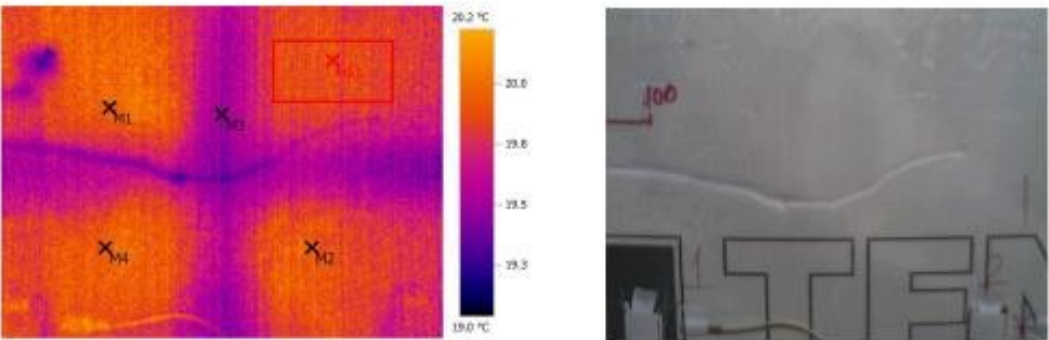
Файл: IV_01423.BMT

Дата: 21/10/2014

Тип
объектива: Стандартный 32°

Серийный номер
объектива: 20284339

Время: 21:41:39



Параметры изображения:

Коэффициент излучения: 0.94

Отраж. темп. [°C]: 20.0

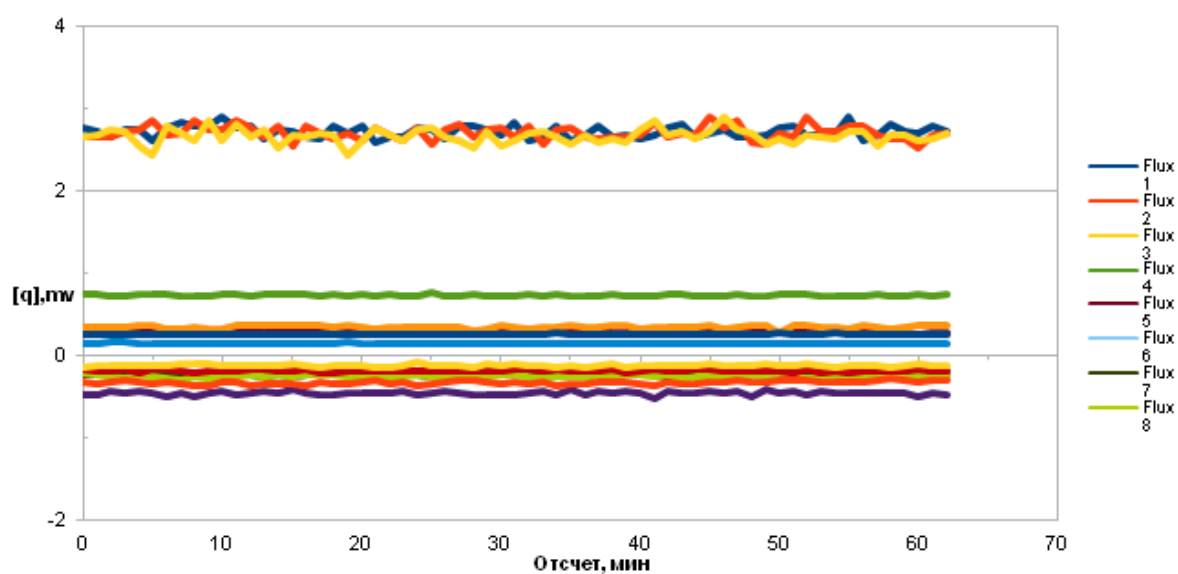
Выделение изображений:

Измеряемые объекты	Темп. [°C]	Излуч.	Отраж. темп. [°C]	Примечания
Точка измерения 1	19.9	0.94	20.0	-
Точка измерения 2	20.0	0.94	20.0	-
Точка измерения 3	19.4	0.94	20.0	-
Точка измерения 4	20.0	0.94	20.0	-
Самая теплая точка 1	20.1	0.94	20.0	-

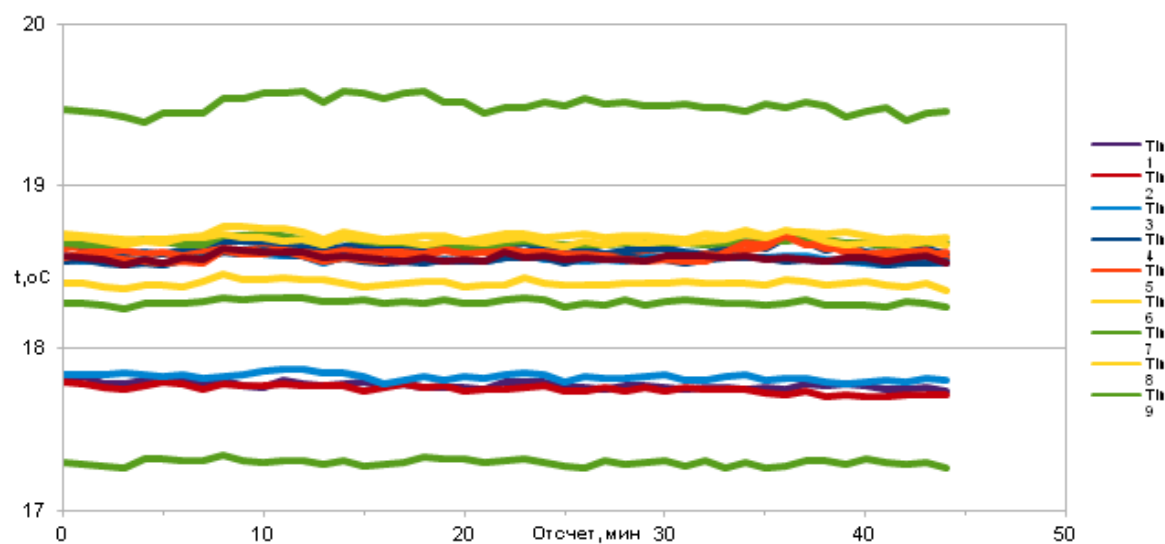
14/11/2014 , _____



Расчетные потоки



Расчетные температуры



		Журнал испытаний		22.10.14			
Образец: пенополиуретан, отделка стеклотканью 600x1200							
Температура в теплом отделении $t_{\text{в}}$		19°C					
Температура в холодном отделении $t_{\text{н}}$		-26°C					
Порядковый номер тепломера	Обозначение конструктивной зоны	Температура внутренней поверхности	Температура наружной поверхности	Перепад температур	Плотность теплового потока	Термическое сопротивление зоны i-го тепломера	Площадь зоны i-го тепломера
№ п/п	по схеме	$t_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{н}}, ^\circ\text{C}$	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$q, \text{Вт/м}^2$	$R_i, \text{м}^2\text{К/Вт}$	$S_i, \text{м}^2$
1	-	17,8	-25,7	43,5	9,3	4,673	0,2400
2	-	17,7	-25,5	43,3	9,2	4,695	0,2400
3	-	17,8	-25,3	43,1	9,4	4,572	0,2400
				Общая площадь образца:			0,7200
Приведенное термическое сопротивление фрагмента панели ($\alpha_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ и $\alpha_{\text{н}} = 23,0 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ – расчетные коэффициенты теплообмена на внутренней и наружной поверхностях):							
R= 4,65 м²К/Вт							
Приведенное термическое сопротивление фрагмента панели ($\alpha_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ и $\alpha_{\text{н}} = 23,0 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ – расчетные коэффициенты теплообмена на внутренней и наружной поверхностях):							
R= 4,80 м²К/Вт							
Исполнитель:		/Меллех Т.Х./					