

Акционерное общество «Ўзбекистон темир йўллари»  
Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта

*На правах рукописи*  
УДК 697.97:692.4

Юнусов Рустам Рашидович

**Эффективные чердачные крыши для  
энергоэкономичных гражданских зданий**

Специальность: 5А340201  
«Строительство зданий и сооружений (транспортные здания и сооружения)»

ДИССЕРТАЦИЯ  
на соискание степени магистра

Научный руководитель:  
д.т.н., профессор Щипачева Е.В.

Ташкент 2016

### **Аннотация**

Диссертация посвящена теоретическому и экспериментальному исследованию работы покрытия гражданского здания в процессе теплопередачи в зимнее и летнее время, а также разработке на основе полученных результатов эффективной чердачной крыши, позволяющей существенно сократить расход энергии на поддержание благоприятного микроклимата помещений верхних этажей.

### **Аннотация**

Диссертация иши қишки ва ёзги даврда фуқаро биноси ёпмасини назарий ва экспериментал тадқиқотларига, ҳамда олинган тадқиқот натижалари асосида бино юқори қаватлирдаги қулай микроиклимни таъминлаш учун сарф буладиган энергия микдорини камайтириш имкониятига берувчи самарали чардоқли томни ишлаб чиқиш масалаларига бағишланган.

### **Annotation**

The thesis is devoted to a theoretical and pilot study of work of a covering of the civil building in the course of a heat transfer in winter and summertime, and also development on the basis of the received results of the effective garret roof allowing to reduce significantly power consumption by maintenance of a favorable microclimate of rooms of the top floors.

Оглавление	стр.
Введение.....	6
1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ПОКРЫТИЙ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ СУХОГО ЖАРКОГО КЛИМАТА.....	10
1.1. Климатические особенности г. Ташкента и их влияние на формирование микроклимата помещений гражданских зданий.....	10
1.2. Конструктивные решения покрытий гражданских зданий и их тепловая защита.....	18
1.3. Современные методы исследования теплозащитных свойств наружных ограждений.....	46
1.4. Цели и задачи исследований.....	55
1.5. Выводы по главе.....	56
2. МАТЕРИАЛЫ, КОНСТРУКЦИИ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ.....	57
2.1. Конструкции и материалы, принятые в исследованиях.....	57
2.2. Методика исследований теплового режима чердачного пространства крыши.....	58
2.2.1. Методика модельного эксперимента.....	58
2.2.2. Математическое планирование эксперимента .....	62
2.2.3. Методика теплотехнических расчетов .....	66
3. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ЧЕРДАЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ЭНЕРГОЭКОНОМИЧНЫХ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ Г.ТАШКЕНТА.....	70

3.1. Теоретическое исследование процесса формирования температуры воздуха в чердачном пространстве крыши.....	70
3.2. Экспериментально-модельное исследование температурного режима чердачного помещения в летних и зимних условиях эксплуатации.....	79
3.3. Совершенствование конструктивного решения чердачной крыши.....	109
3.4. Выводы по главе.....	111
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	113
Библиографический список.....	114

## Введение

### **Актуальность темы диссертационной работы.**

Сокращение запасов минерального сырья и ископаемого органического топлива и, как следствие, их постоянное удорожание обуславливают одну из актуальнейших проблем в экономике многих стран - разработку и внедрение энерго- и ресурсосберегающих мероприятий при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий.

Для Республики Узбекистан эта проблема стоит наиболее остро, так как эксплуатационное энергопотребление существующих жилых и общественных зданий примерно в 3 раза превышает аналогичные показатели в технически развитых странах.

Зарубежными учеными были определены основные пути, позволяющие снизить эксплуатационное энергопотребление в зданиях, и их возможная эффективность. Опыт показал, что наиболее действенным энергосберегающим мероприятием (до 30% экономии), наряду с совершенствованием систем отопления, вентиляции и кондиционирования, является повышение уровня теплозащиты наружных ограждающих конструкций. Правительство Узбекистана уделяет особое внимание данной проблеме. В связи с этим были изданы Указы «Об усилении государственной поддержки жилищного строительства в городе Ташкенте» от 31 января 1996 г., «О мерах по дальнейшему совершенствованию архитектуры и градостроительства в Узбекистане» от 26 апреля 2000 г., а также приняты Закон «О рациональном использовании энергии» в 1997 г. и Постановление Президента № ПП-847 от 29 апреля 2008 г. «О мерах по дальнейшему совершенствованию деятельности проектных организаций».

Выше указанные правительственные документы приняты в целях дальнейшего усиления экономических реформ в капитальном строительстве, повышения качества и уровня проектной, архитектурной и строительной деятельности. Они направлены на построение и реализацию концепции и

программы единой научно-технической политики, государственных стандартов и норм, а также ориентируют на проектирование энергосберегающих жилищ с комфортной средой и оптимизацию тепловой защиты зданий. Сокращение энергоёмкости продукции и бережное использование энергоресурсов, по мнению Президента РУз, является одним из комплексных мероприятий программы по преодолению Мирового финансово-экономического кризиса в условиях Узбекистана [8].

На формирование внутренней среды помещений гражданских зданий существенное влияние оказывает климат местности и теплозащитные свойства наружных ограждающих конструкций. При этом в условиях летней эксплуатации на территории Республики Узбекистан, находящейся в зоне сухого жаркого климата, особая роль отводится конструктивному решению покрытия, испытывающему наибольшее тепловое воздействие от солнечной радиации [13, 28].

Большинство научных разработок посвящено вопросам энергосбережения за счет утепления наружных стен и совершенствования систем климатизации зданий. А вот покрытие – второму по важности ограждающему элементу зданий - уделяется неоправданно малое внимание.

В связи с этим, исследование работы покрытия в процессе теплопередачи в зимнее и летнее время, а также разработка на основе результатов экспериментов эффективного покрытия гражданского здания, позволяющего существенно сократить расход энергии на поддержание благоприятного микроклимата помещений, являются чрезвычайно актуальными.

#### **Степень изученности проблемы.**

Основы тепловой защиты ограждающих конструкций зданий были разработаны в 80-х годах прошлого столетия Ю.А.Табунщиновым, Ю.А.Матросовым и М.М.Брозац. Дальнейшее развитие для условий сухого жаркого климата они получили в работе Щипачёвой Е.В. Однако в них была рассмотрена наружная оболочка здания в целом (покрытие не выделялось

как отдельная конструкция).

Исследования покрытий Ананьевым А.И., Брилингом Р.Е., Васильевым Б.Ф., Жуковым А.Н. и других выявили существенные недостатки метода расчёта ограждающих конструкций по СНиП (КМК) на теплоустойчивость из-за расхождения расчётных параметров с натурными данными. Кроме того, установлено некоторое несоответствие к нормированию между КМК и ГОСТами. В КМК регламентируется амплитуда колебаний температуры внутренних поверхностей ограждений, а в ГОСТ регламентируются требования к температурам внутреннего воздуха и внутренних поверхностей ограждения.

Следовательно, метод расчёта покрытия должен быть уточнён, а принципы формирования температурно-влажностного режима чердачного помещения положены в основу совершенствования конструктивного решения покрытия.

**Методы исследований.** В качестве основных методов исследований были приняты теоретические, расчетные, экспериментальные, математического планирования эксперимента и математической статистики для обработки результатов.

**Научная новизна** работы состоит в следующем:

- развит научный подход к созданию эффективных конструкций покрытий энергоэкономичных гражданских зданий;
- выявлены закономерности формирования температурного режима чердачного пространства под воздействием климатических факторов и внутренней среды помещений верхнего этажа;
- показана возможность сокращения энергозатрат зданиями в климатических условиях Республики Узбекистан за счет совершенствования конструкции чердачной крыши.

**Практическая значимость работы** заключается в разработке конструктивного решения эффективной чердачной крыши для климатических условий Республики Узбекистан.

**Объект и предмет исследования:** разработка конструкции чердачной крыши, включая изучение особенностей формирования температурного режима чердачного помещения, а также определение расположения воздушных отверстий (продухов), исходя из требований создания комфортных условий для людей при экономном расходовании энергии с учетом климатических особенностей Республики Узбекистан.

**Структура и объем диссертации.**

Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключение, списка использованной литературы из 52 наименований и приложений, изложена на 117стр. печатного текста, содержит 12таблиц и 38рис.

# **1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕПЛОЙ ЗАЩИТЫ ПОКРЫТИЙ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ В УСЛОВИЯХ СУХОГО ЖАРКОГО КЛИМАТА**

## **1.1. Климатические особенности г. Ташкента и их влияние на формирование микроклимата помещений гражданских зданий**

Среди многочисленных природных условий, влияющих на существование человека на земле, первостепенное значение имеют атмосферные факторы: температура наружного воздуха, относительная влажность воздуха, солнечная радиация, ветровой режим.

По данным литературных источников [1, 10], город Ташкент занимает северо-восточную часть Узбекистана. Температура воздуха относится к основным метеорологическим факторам, определяющим режим погоды и климата, и характеризуется такими показателями как средние месячные и суточные температуры. Средняя месячная температура воздуха в январе составляет  $-0,4 \dots -1,5^{\circ}\text{C}$ , в июле –  $27-29^{\circ}\text{C}$  [29].

Суточная амплитуда температуры воздуха в Ташкенте равна  $13,0-18,5^{\circ}\text{C}$ . На величину амплитуды сильно влияет облачность: наибольшие суточные амплитуды наблюдаются при ясном небе, а при пасмурном небе значения на  $6-9^{\circ}\text{C}$  меньше.

Максимальная амплитуда температуры воздуха в июле для Ташкента составляет  $23,7^{\circ}\text{C}$ , а средняя  $17,4^{\circ}\text{C}$  (для сравнения, в Тбилиси соответственно  $19,9$  и  $14,3^{\circ}\text{C}$ , и в Москве  $15,7$  и  $11,8^{\circ}\text{C}$ ) [1]. По данным [1], расчетная температура наружного воздуха составляет  $t_{\max}=39^{\circ}\text{C}$ ,  $t_{\text{суточн.}}=30,3^{\circ}\text{C}$ . Что касается зимнего периода, то средняя температура наиболее холодной пятидневки равна  $-15^{\circ}\text{C}$ , средняя температура наиболее холодных суток равна  $-18^{\circ}\text{C}$ .

Также, характерная особенность микроклиматических условий города

Ташкента заключается в том, что, если летом длительное время дневная температура держится примерно на одном уровне, то зимой в течение 1-3 суток может наступить резкое изменение погоды, похолодание [30]. В таких условиях, архитектурно-планировочные меры, направленные на борьбу с летним перегревом, обусловленным интенсивной солнечной радиацией и высокой температурой воздуха, необходимо увязывать с требованиями теплозащиты в зимний период.

Для Ташкента среднегодовая относительная влажность воздуха составляет 58-60%, в летние месяцы – 40-50% ночью и 25-30% днём [5]. Низкая относительная влажность воздуха на территории Ташкента обусловлена незначительным количеством осадков в течение года. Летом, очагом формирования сухого воздуха являются разогретые пустынные территории.

Суммарная солнечная радиация в районах с жарким сухим климатом достигает за год 7-8,5 кДж. Её значения возрастают с уменьшением широты и в зависимости от высоты над уровнем моря, а также от облачности. Так, в Ташкенте продолжительность солнечного сияния в среднем за год составляет 2889 часов [25].

В часы максимального облучения на горизонтальную поверхность в г. Ташкенте в полдень в июле приходится 890 Вт/м<sup>2</sup>, на вертикальную – 610 Вт/м<sup>2</sup> [1].

Ветровой режим на территории Узбекистана проявляется различно в зависимости от скорости ветрового потока. В Ташкенте летом скорость ветра составляет 2,0-2,5 м/с. В течение суток средняя скорость ветра в дневные часы увеличивается от 1,3 до 1,5-1,9 м/с, снижаясь в вечерние и ночные часы до 1,0-1,1 м/с [1].

Таким образом, г. Ташкент расположен в регионе с резко выраженным континентальным климатом. В этих условиях конструктивные меры, направленные на борьбу с летним перегревом, необходимо увязывать с

требованиями, вытекающими из особенностей зимнего режима.

Параметрами, определяющими комфортные для человека условия в помещениях, являются: температура, влажность и скорость движения воздуха, а также температура внутренних поверхностей ограждающих конструкций.

Анализ многочисленных данных по характеристикам температурно-влажностного режима помещений применительно к южным условиям (И.С.Ветошкин, М.С.Горомосов и др.), а также натурных наблюдений на территории Узбекистана (П.А.Азизов, И.М.Геллер, А.В.Ершов, Е.А.Солдатов) дают возможность определить границы благоприятных летних микроклиматических условий в помещениях [1].

Температура - наиболее характерная и наиболее существенная черта микроклимата помещений. Температура внутреннего воздуха в летнее время зависит в основном от количества тепла, вносимого инсоляцией через светопроемы, и от нагретых в течение дня ограждающих конструкций [8].

Верхняя граница благоприятных температурных условий в помещении днём колеблется в пределах 24-26°C. Снижение относительной влажности и повышение скорости движения воздуха в дневное время, наблюдающиеся в условиях круглосуточного проветривания помещений, создают комфортные условия и при более высоких температурах (до 30-31°C) [1].

Температура воздуха внутри жилых домов в г. Ташкенте летом достигает 33-36°C, что на 2-3,5°C выше среднесуточной наружной. В зданиях, сооружённых с отступлением от требований строительных норм и правил, возможны повышения внутренней температуры до 38-40°C [15].

В настоящее время проектирование и строительство жилых зданий осуществляются согласно требований КМК [11]. Между тем, теплотехнические и микроклиматические требования КМК, основанные на минимальных гигиенических требованиях, не обеспечивают оптимальный микроклимат в помещениях. Соответственно, температурно-влажностный

режим помещений, если и соответствует требованиям КМК, не является комфортным.

Обозначим требования гигиенического комфорта. В целях улучшения теплового режима жилищ расчетную зимнюю температуру воздуха в помещениях целесообразно повысить до гигиенического оптимума 21-22°C. (по КМК температура внутреннего воздуха в жилых зданиях должна составлять 20°C) При отоплении непрерывного действия (центральном) суточные колебания температуры не должны превышать  $\pm 1,5^\circ\text{C}$  [31].

Важное гигиеническое значение в обеспечении теплового комфорта имеет величина горизонтальных и вертикальных перепадов температуры воздуха в помещении. Рекомендуется, чтобы температурные перепады воздуха по вертикали внутри помещения не выходили за пределы 2°C на уровне 1,5 м от пола [31]. В этих условиях человек в обычной одежде не ощущает неравномерности температуры.

Распределение температур воздуха по вертикали зависит от многих разнородных факторов: перепада  $\Delta t = t_v - t_n$ , теплозащитной способности наружных ограждений, главным образом перекрытий, и их воздухопроницаемости; стадии нагрева или остывания помещения при периодическом отоплении; расположения отопительных приборов в плане и по вертикали; расположения помещений (на нижнем, промежуточном или верхнем этаже).

Удельный вес воздуха уменьшается с повышением температуры, так как нагретые частицы стремятся подняться вверх. Поэтому при обычных конвективных системах отопления происходит общее повышение температуры поверхности пола и потолка. Однако, их температура остается ниже температуры омывающего их воздуха. Температура от уровня пола до известной высоты повышается, но в слоях воздуха, омывающего потолок, снова падает. Сочетание теплоизоляционной способности пола и потолка влияет на характер распределения температур по вертикали. Так, повышение

воздухопроницаемости нижнего перекрытия приводит к охлаждению пола и нижних слоёв воздуха.

Физиолого-гигиенические наблюдения [31] позволяют считать, что этот перепад не должен превышать  $1,5-2^{\circ}\text{C}$  при  $20\pm 1^{\circ}\text{C}$  температуры воздуха в помещениях.

В КМК допускается перепад между температурой внутренней поверхности наружных ограждений и температурой воздуха внутри помещения в  $6^{\circ}\text{C}$ . В США считают, что дискомфорт наблюдается уже при перепаде в  $5^{\circ}\text{C}$  [5]. С гигиенической точки зрения необходимо, чтобы температура внутренней поверхности наружного ограждения была ниже комфортной температуры воздуха помещений не более чем на  $2-3^{\circ}\text{C}$ , а расчётный перепад температур не превышал  $3^{\circ}\text{C}$ .

Влажность воздуха в условиях жаркого климата оказывает существенное влияние на терморегуляцию человека. При высоких температурах она затрудняет испарение влаги с кожного покрова и приводит к перегреву организма.

Общеизвестно, что сочетание высокой влажности не только с тёплым, но и с холодным воздухом неблагоприятно сказывается на тепловом состоянии и самочувствии человека [31].

Чрезмерная сухость воздуха (менее 30% относительной влажности) усиливает испарение влаги с поверхности слизистых оболочек дыхательных путей, вызывает ухудшение фильтрационной способности слизистой оболочки верхних дыхательных путей по отношению к микрофлоре и пыли.

Высокая относительная влажность, особенно при повышенной температуре, значительно ухудшает тепловое состояние человека, снижая испарения пота с поверхности кожи и, тем самым, затрудняя теплоотдачу. При очень большой относительной влажности (60% и более) испарение пота становится почти невозможным. При высокой температуре воздуха степень

влажности приобретает решающее значение для теплового состояния организма.

При оптимальных комнатных температурах колебания относительной влажности в пределах 30-60% не оказывает столь значительного влияния на условия теплоотдачи и теплоощущения человека [32].

Снижение относительной влажности и повышение скорости движения воздуха в дневное время, наблюдающиеся в условиях круглосуточного проветривания помещений, создают комфортные условия и при более высоких температурах (до 30-31°C) [1].

Прямые солнечные лучи и инсоляция имеют огромное saniрующее значение для жилища и необходимы для правильного развития организма человека. Но наряду с положительным влиянием на жизнь человека, солнечный свет, при определённых неблагоприятных условиях, может вызвать вредное явление перегрева, крайне отрицательно сказывающееся на здоровье и трудоспособности людей.

Из факторов, вызывающих перегрев воздушной среды, следует отметить солнечную радиацию. Благоприятные атмосферные условия при высоком стоянии солнца способствуют тому, что действительные суммы радиации составляют значительную долю возможных.

Помимо тепловых нагрузок от прямой солнечной радиации элементы зданий получают значительную долю тепла за счёт радиации, отражённой горизонтальными и вертикальными поверхностями окружающего городского ландшафта (земля, зелёные насаждения, стены домов). Это объясняется большой величиной суммарной солнечной радиации, поступающей на данные поверхности и высоким коэффициентом отражения этих поверхностей. Например, стены домов в Ташкенте получают до 31% дополнительной солнечной радиации, отражённой от поверхности земли [1].

Зона неблагоприятного влияния отражённой от стены радиации на

человека составляет от 6 м (южная ориентация) до 15 м (западная ориентация).

Ветер играет немаловажную роль в формировании микроклимата помещений. В зависимости от температуры воздуха и скорости движения, ветер может быть полезен или вреден для здоровья человека. При температуре 28-33°C и скорости 1-4 м/с ветер снижает неблагоприятные воздействия температуры, проветривание улучшает микроклимат. При более высоких температурах, особенно при относительной влажности воздуха менее 25% и скорости более 4 м/с, ветер не даёт облегчения. Если же рассматривать его при более высоких скоростях, он становится вредным для здоровья человека [24].

В городе Ташкенте ветровой режим в ночные часы недостаточно интенсивен: скорость ветра в июле менее 1,5 м/с, что снижает эффективность ночного охлаждения жилища [1].

В зимнее же время охлаждение помещений зависит не только от действия низких температур наружного воздуха, но и в значительной степени от скорости зимних ветров. Наиболее интенсивное охлаждение происходит при большой скорости ветра и низком качестве изготовления окон и балконных дверей, неудовлетворительном теплотехническом качестве наружных стеновых панелей. Причем температура наружного воздуха меньше влияет на охлаждение, чем ветер.

При характерном ветровом режиме Узбекистана объёмно-планировочная и композиционная организация жилой среды должна обеспечивать условия для ускоренного охлаждения жилища и территории застройки, ограждающих конструкций различных сооружений, улучшать условия теплообмена человека со средой.

С гигиенической точки зрения в жилых домах должна быть заложена схема проветривания помещений, обеспечивающая требуемую подвижность воздуха. Наиболее благоприятные условия для проветривания помещения

создаются в двухсторонних квартирах со сквозной схемой проветривания. Сквозное проветривание способствуют увеличению средних скоростей движения воздуха в помещениях при открытых проёмах в 4-5 раз по сравнению боковым проветриванием в односторонних квартирах. В прохладное время суток помещения быстрее охлаждаются, улучшается теплоотдача организма конвекцией и испарением.

Загрязнённость атмосферы частицами песка и пыли неблагоприятна для дыхательных путей человека, а также вызывает загрязнение помещений.

Значение ограждающих конструкций с микроклиматической точки зрения заключается в том, что они влияют на инерционные качества здания, т.е. на запаздывания внутренних теплофизических процессов по отношению к внешним. Температура внутри помещения начинает расти днем вслед за повышением температуры наружного воздуха и инсоляцией здания. Однако максимальная температура воздуха в помещениях в зависимости от теплотехнических качеств жилого дома наблюдается в 18-22 часа, а максимальная температура наружного – в 15-16 часов [1].

Таким образом, в жилых зданиях температура внутреннего воздуха в летний период превышает комфортные значения, и квартиры перегреваются.

Для решения этой проблемы обычно используют «искусственный климат помещений» в виде кондиционирования воздуха. Но не только с экономической точки зрения продиктовано довольно ограниченное применение системы кондиционирования воздуха в жилых домах. При кондиционировании создаются условия неблагоприятные для человека в физическом и психологическом отношении: имеет место очень сильный контраст между внешним климатом и кондиционируемой средой, приводящий к нарушению психического и физического равновесия организма человека.

Кроме того, исследования гигиенистов показывают, что наружный воздух, поступающий в помещение через калориферы, вентиляторы и

воздуховоды, утрачивает отрицательные ионы и этим ухудшает свои биологические качества [30].

В зимний период в климатических условиях Узбекистана наблюдаются отрицательные температуры, выпадение снега, осадков и чрезмерное похолодание. Например, для Ташкента среднемесячная температура наружного воздуха в январе составляет  $-0,9^{\circ}\text{C}$ , средняя температура наиболее холодной пятидневки  $-15^{\circ}\text{C}$ , а наиболее холодных суток  $-18^{\circ}\text{C}$  [33]. Это значит, что в зимний период необходима защита помещений и от холода.

Наиболее распространённый способ поддержания искусственного микроклимата помещений в зимнее время – отопление, функционирующее в течение отопительного периода, что, строго говоря, обеспечивает только один параметр микроклимата - температуру внутреннего воздуха.

Таким образом, в зимний период оптимальными параметрами воздушной среды в жилых зданиях, расположенных на территории Республики Узбекистан являются: внутренняя температура  $t_{\text{в}}=20-23^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность  $\varphi=30-45\%$  и температурный перепад между внутренним воздухом и внутренней поверхностью стены равной  $\Delta t_{\text{в}}=4^{\circ}\text{C}$ .

По сравнению с остальными элементами зданий, покрытие получает максимальное количество солнечной радиации – всего на 26% меньше, чем все четыре стены, вместе взятые [1]. Основная задача покрытий, кроме защиты от атмосферных осадков, обеспечить защиту помещений от перегрева сверху, снизить температурный перепад между нижней поверхностью покрытия и внутренним воздухом. Конструкции покрытий играют большую роль в создании оптимального микроклимата помещений.

В связи с этим, конструктивные решения покрытий и методы их тепловой защиты целесообразно рассмотреть в следующем разделе диссертационной работы.

## **1.2. Конструктивные решения покрытий гражданских зданий и их тепловая защита**

Известны два основных способа защиты зданий от перегрева посредством конструктивного решения покрытия.

I. Повышение тепловой инерции. Применение легких теплоизоляционных материалов, то есть конструкции с эффективными утеплителями малой толщины (с малым коэффициентом теплопроводности) не дает значительного теплозащитного эффекта и требует дополнительных конструктивных мероприятий для снижения теплопоступлений в помещение, в связи с чем необходимо применение массивных ограждений.

II. Солнцезащитные устройства. Для защиты кровли от солнечной радиации применяются следующие мероприятия: а) светлая окраска; б) охлаждение водой (водонаполнение и орошение); охлаждение воздухом (вентиляция и затемнение).

Кровли светлых тонов, отшлифованные и рифленые поверхности, а также поверхности, покрытые алюминием, белым лаком, фольгой обладают высокой отражающей способностью, обеспечивают снижение температур поверхности кровли на  $15^{\circ}\text{C}$  и более, а также уменьшают величину тепловых потоков в 1,5 – 2 раза. Однако быстрое их загрязнение и пыль снижают отражательный эффект и долговечность кровли [14].

В водонаполненных покрытиях слой воды снижает максимальную температуру кровельного материала летом до 40 – 50%, защищает от влияния атмосферных воздействий и резкой смены температуры [19]. Его эффективность зависит от интенсивности испарения с водной поверхности. Установлено, что чем ниже относительная влажность воздуха, тем выше величина испарения. При падении относительной влажности с 60 до 20% при одной и той же температуре испарение увеличивается в 2 раза [17]. Температура поверхности кровли зависит от толщины слоя воды [19]. Для государств Центральной Азии расход воды при толщине слоя 5 – 7 см равен 10 – 11 л/м<sup>2</sup>, при небольшом сливе через патрубки (от зеленения воды) – не менее 15 л/м<sup>2</sup> за часы облучения [18]. Вместе с тем, для водонаполненных покрытий требуются нулевые уклоны, материалы высокого качества и

точность работ. Вода – хороший аккумулятор пыли, различных примесей, хорошая среда для развития бактерий, микроорганизмов и водорослей. Поддержание на кровле определенного уровня воды требует специальных регулирующих устройств и оборудования.

Известны три способа орошения: непрерывное распыление, прерывистое и кратковременное. Все они дают примерно одинаковый теплозащитный эффект (среднесуточная и максимальная температуры наружной поверхности соответственно на  $9,5^{\circ}\text{C}$  и до  $30^{\circ}\text{C}$  ниже, чем покрытия без орошения). Если недостатком первых двух является значительный расход воды ( $250 - 140 \text{ л/м}^2$ ), то кратковременное распыление позволяет снизить его до  $15 - 25 \text{ л/м}^2$  за часы облучения. Основной недостаток этого способа солнцезащиты – значительный расход воды и необходимость устройства разбрызгивающих установок.

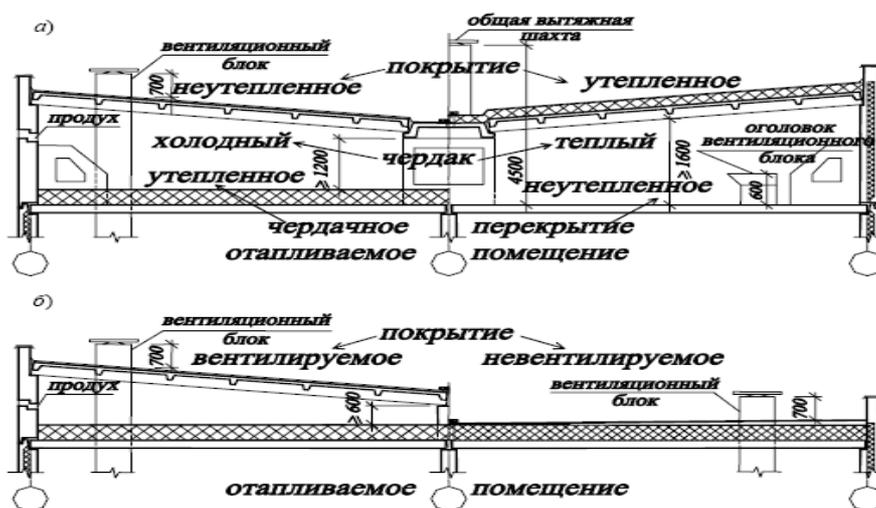
Охлаждение кровли воздухом – одно из перспективных солнцезащитных решений покрытий зданий. Определенный эффект дают крыши–теневые устройства, выполненные в виде второй кровли [14]. Кровли с теневыми устройствами более дорогие из-за высокой стоимости солнцезащиты. Однако, при комплексной оценке недостатков водонаполненных покрытий, дефицитности воды для государств Центральной Азии, сравнительно большом сроке службы и долговечности покрытия с теневыми устройствами могут оказаться более экономичными. Для выбора солнцезащитных устройств нет твердых рекомендаций.

В сухом жарком климате применяются преимущественно следующие виды крыш - скатные (имеющие уклон более  $10^{\circ}$ ) и плоские (с уклонами до  $10^{\circ}$ ), а также купольные и сводчатые, позволяющие резко снизить эффект солнечного облучения и повысить эффект охлаждения при омывании воздухом за счет развитой поверхности покрытий. Устраивают также двойные покрытия с вентилируемым пространством. Не исключено применение тяжелых покрытий из теплоемких материалов, а также крыш – ванн и орошаемых крыш [11].

Скатные покрытия устраивают как в жарком влажном, так и в жарком сухом климате. Они могут быть односкатные и двускатные, с чердаком и с воздушной прослойкой. Односкатные покрытия, по сравнению с двускатными, имеют ряд преимуществ. Вентиляция в них осуществляется проще, отсутствует такой сложный элемент, как конек, сток воды идет в одну сторону, то есть необходимо устройство только одного карниза.

Бесчердачный вариант скатных покрытий удовлетворителен лишь при крыше из алюминия. Обладая большой отражательной способностью, он резко снижает тепlopоступления через крышу. Однако необходимость тепловой защиты чердачного перекрытия сохраняется, поэтому поверх его несущей конструкции укладывают теплоизоляцию. Устройство проветриваемого чердачного пространства с естественной или побудительной вентиляцией значительно улучшает работу покрытия. Эффективная вентиляция чердака обеспечивает почти полную защиту от воздействия солнечной радиации.

В настоящее время крыши многоэтажных гражданских зданий проектируются из сборных железобетонных элементов. Это обусловлено прежде всего высокой надежностью по сравнению с традиционными крышами. Такие крыши выполняются, как правило, малоуклонными с внутренним водоотводом. Применяются три типа конструкций крыш: чердачные, бесчердачные (совмещенные) и эксплуатируемые (рис. 1.1).



а – чердачные; б – бесчердачные.

Рис. 1.1 Принципиальные схемы крыш из железобетонных элементов

Рекомендации по типу конструкции крыши, метода гидроизоляции покрытия и системы водоотвода осуществляется с учетом назначения здания, его этажности, климатических условий района строительства представлены табл. 1.1 [12].

Таблица 1.1

**Выбор конструкций крыш и их уклонов в зависимости от типа зданий и климатических условий района строительства.**

Тип зданий и их этажность	Конструкция крыши	Климатический район				Минимальный уклон, %	
		I	II	III	IV	кровли	лотка
Жилые и общественные высотой 5 и более этажей	Чердачные с внутренним водоотводом:					для рулонных кровель	
	– с холодным чердаком						
	• рулонной кровлей					3	1
	• безрулонной кровлей	С	С	С*	Д*		
	– с теплым чердаком	Д	С	С	Д	для безрулонных кровель	
• рулонной кровлей							
• безрулонной кровлей	С	Д	С	Д			
– с открытым чердаком	Д	Д	С	Д			
• рулонной кровлей					5	3	
• безрулонной кровлей	Н	Н	Н	С*			
		Н	Н	Н	С		
Жилые и общественные высотой до 4 этажей включительно	Бесчердачная с наружным или внутренним водоотводом:						
	– совмещенная вентилируемая						
	• с рулонной кровлей	Д	С	С*	Д*	3	1
	• с безрулонной кровлей	Д	С	Д	Д	5	3
	– совмещенная невентилируемая из одно- или многослойных панелей с утеплителем	Д	С	Д	Н	3	2

Условные обозначения: С – следует применить; С\* – то же, с защитным слоем гравия; Д – допускается применить; Д\* – то же, с защитным слоем гравия; Н – не допускается применять.

Обозначение климатических районов в таблице дано в соответствии с СНиП 2.01.01-82.

Эксплуатируемые крыши-террасы устраивают, как правило, над бесчердачными крышами с рулонной гидроизоляцией. Пол крыши-террасы имеет горизонтальную поверхность, а кровля — уклон до 25%. Пол эксплуатируемых крыш служит защитным слоем для гидроизоляции. Его выполняют из каменных или железобетонных (иногда облицованных керамической плиткой) плит, свободно уложенных на железобетонные прокладки, установленные на кровле на асфальтовых маяках или по слою

кварцевого песка толщиной не менее 30 мм. Для гидроизоляции крыш-террас применяют наиболее долговечные рулонные материалы (гидроизол и др.), а число слоев изоляции назначают на один большим, чем при неэксплуатируемых крышах. По поверхности рулонного ковра наносят сплошной 2-х мм слой горячей мастики. Битумные мастики антисептируют гербицидами, препятствующими прорастанию растений из случайно занесенных на крышу семян и спор.

Чердачные крыши подразделяются по тепловому режиму чердака: с холодным (в том числе открытым) чердаком и с теплым чердаком. По способу удаления воздуха из вытяжной вентиляции здания: с вытяжной вентиляцией здания наружу и с выбросом воздуха из вентиляции в чердачное пространство. По несущей конструкции покрытия: из железобетонных элементов; из металлических конструкций; из деревянных конструкций; из других конструкций и/или комбинированные. По виду материалов водоизоляции кровли: с рулонной кровлей и с безрулонной кровлей. Утепление помещений верхнего этажа должно, как правило, производиться путем укладки утеплителя по чердачному перекрытию. Вентиляционные блоки и канализационные вытяжки пропускаются через крышу и утепляются (в пределах чердака). Для вентиляции холодного чердака следует предусматривать в наружных стенах с каждой стороны здания (как минимум - на двух противоположных стенах) отверстия. Крыши с теплым чердаком содержат: утепленное покрытие с кровлей; наружные стены чердака, по конструкции и по теплозащите аналогичные стенам здания. Для удаления отработанного воздуха из чердачного пространства следует предусматривать вытяжные шахты по одной на каждую секцию.

Вентиляционные блоки в чердаке завершаются, как правило, бетонными оголовками высотой не менее 600 мм от перекрытия верхнего этажа. В покрытии устраивается общая вытяжная шахта, через которую пропускаются

канализационные вытяжки и осуществляется выход на кровлю

Чердачное пространство для улучшения воздухообмена выполняется в виде единого объема в пределах планировочной секции здания. Применение сплошных конструкций, существенно ухудшающих воздухообмен (длинные опорные панели, высокие прогоны или ребра и т.п.) не допускается.

Выпуск воздуха из теплого чердака в атмосферу производится через вытяжную шахту, общую для всех квартир одной секции здания. Шахту следует устанавливать в средней части каждой секции чердака на приблизительно равных расстояниях от вентиляционных блоков. Стенки шахты выполняются, как правило, из плотного бетона с металлическим каркасом.

Для предотвращения выпадения конденсата на внутренней поверхности, стенки шахты должны иметь теплозащиту не ниже 0,6 расчетного сопротивления теплопередачи покрытия.

Крыши с открытым чердаком. Особенность открытого чердака состоит в совмещении принципиальных схем теплого и холодного чердаков: выпуск вентиляции в чердак без сохранения теплого режима чердака.

Конструкции наружных чердачных стен и покрытия аналогичны конструкции холодного чердака. В наружных стенах устраиваются приточные и вытяжные (как правило, подкарнизные) вентиляционные отверстия. Площадь вентиляционных отверстий определяются теплотехническим расчетам по зимним и летним условиям эксплуатации.

Вариантами проветривания чердачного пространства являются вытяжные шахты, а при скатной кровле из штучных материалов - зазоры между листами кровли и подкарнизными элементами.

Вентиляционные участки канализационных стояков для крыш с внутренним водостоком необходимо выводить на улицу преимущественно через водосточную воронку специальной конструкции.

При скатной кровле из штучных материалов канализационные вытяжки пропускаются через крышу.

Вентиляционные блоки в чердаке завершаются, как правило, бетонными оголовками высотой не менее 600 мм от утеплителя. Оголовки вентиляционных блоков на чердаке, для предотвращения наледей на потолке чердака, следует перекрывать зонтами в виде рассекателя из оцинкованной стали или асбестоцементного листа.

В населенных пунктах, где расчетная скорость ветра равна или превышает 5 м/сек, рекомендуется устраивать вытяжную шахту на кровле.

В пространство открытого чердака не допускается выброс вентиляционного воздуха, содержащего вредные вещества 1 и 2 класса опасности или взрывоопасные вещества, а также от вытяжных систем с механическим побуждением.

Бесчердачные вентилируемые крыши (в том числе - с замкнутой воздушной прослойкой) проектируют раздельной конструкции (с конструктивным элементом, обеспечивающим водоизоляцию, и перекрытием с теплоизоляцией) или совмещенной (конструкция которой совмещает несущие, теплоизоляционные и водоизоляционные функции).

Бесчердачные крыши раздельной конструкции образуются элементами, разделенными воздушной полостью. Воздушная полость должна быть высотой не более 600 мм, вентилируемая воздухом через отверстия в наружных стенах. Совмещенная крыша (покрытие) может выполняться из комплексных панелей (однослойных и многослойных) или построечного выполнения. Для улучшения теплотехнических показателей кровель, необходимо предусматривать мероприятия по осушению утеплителя (вентиляцию)

При устройстве совмещенной крыши весьма целесообразно в одном монтажном элементе сочетать несущие тепло-, гидроизоляционные и вентиляционные функции, создавая крупноразмерную панель большой заводской готовности [21].

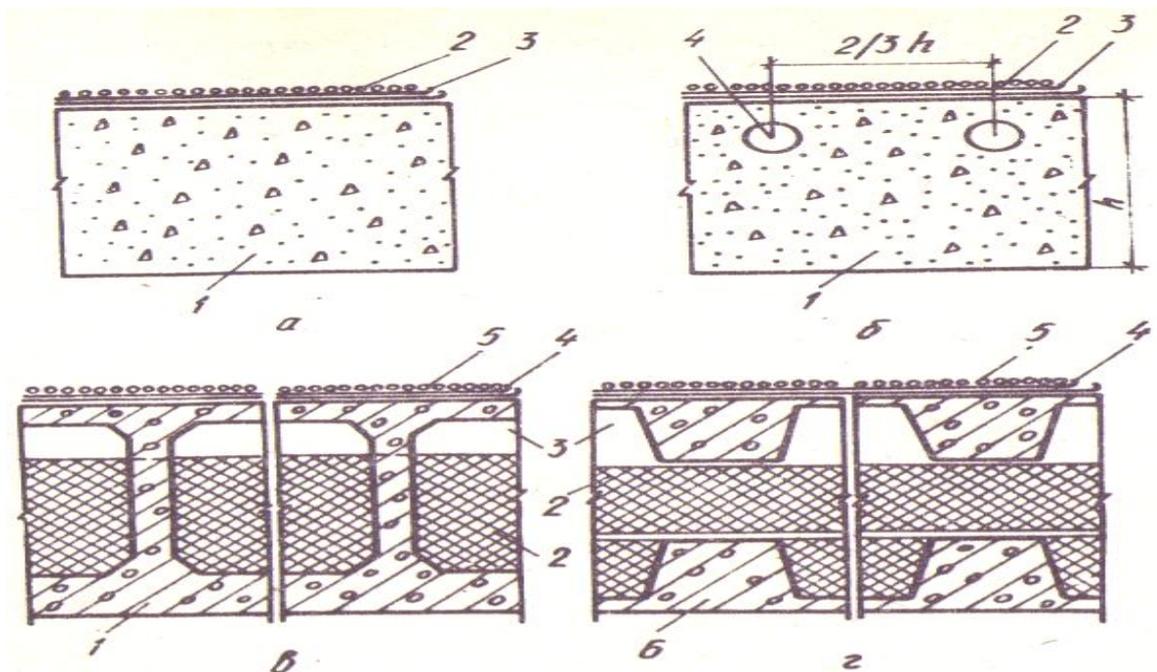
По конструктивным признакам совмещенные покрытия делятся на три группы:

1. Покрытия из крупных панелей заводского изготовления, монтируемые в один прием:

- Однослойные из легких и ячеистых бетонов (керамзитобетон, пенобетон, газобетон, газосиликат и др.);
- Коробчатого сечения с заполнением полости теплоизолирующим материалом;
- Двумя железобетонными плитами, между которыми заложен утеплитель (рис. 1.2)

2. Покрытия из крупных панелей заводского изготовления, монтируемые в два приема (рис.1.3 а)

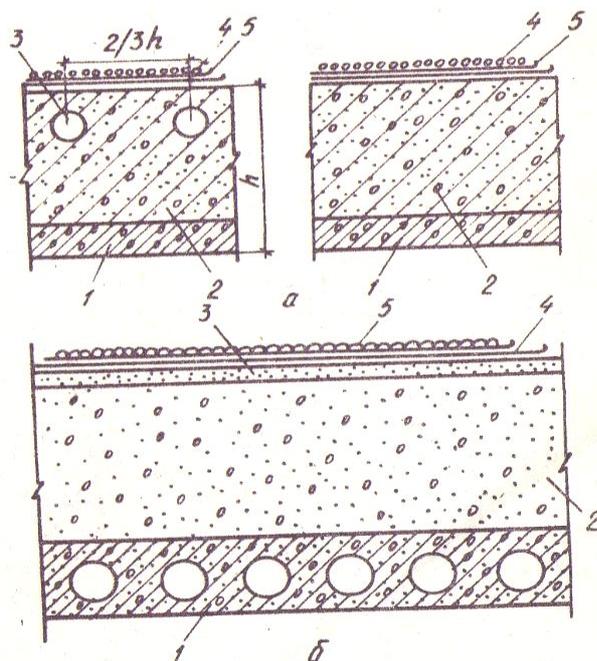
3. Покрытия, устраиваемые на месте строительства с расположением утеплителя поверх несущих плит и обязательной стяжкой (рис.1.3 б)



**а, б** – однослойные панели (1 – несущий утеплитель из легкого бетона, керамзитобетон, пенобетон, газобетон, газосиликат; 2 – гравий светлых тонов, втопленный в битумную мастику; 3 – гидроизоляционный ковер из рубероида; 4 - каналы осушающей вентиляции); **в** – панели коробчатого типа, **г** – панели из двух ребристых плит (1 – коробчатая панель из железобетона или армоцемента; 2 – жесткий или гибкий утеплитель: пеностекло, минераловатная плита; 3 – прослойка осушающей вентиляции; 4 – гидроизоляционный ковер из рубероида; 5 – гравий светлых тонов, втопленный в битумную мастику; 6 – железобетонная

ребристая плита).

Рис. 1.2 Конструкции совмещенных покрытий



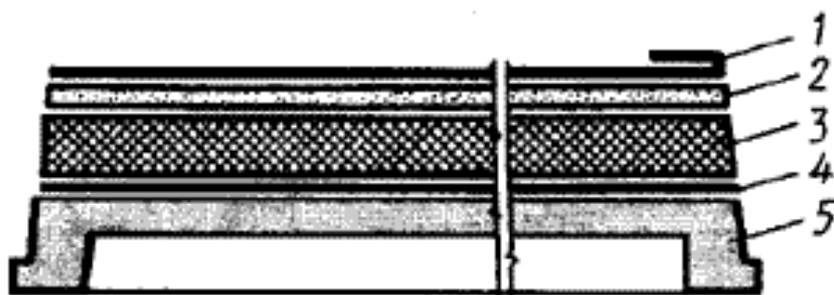
**а** – с несущим утеплителем (1 - несущая железобетонная плита; 2 – несущий утеплитель из легкого бетона: керамзитобетон, пенобетон, газобетон; 3 – каналы осушающей вентиляции; 4 – гравий светлых тонов, втопленный в битумную мастику; 5 - гидроизоляционный ковер из рубероида);

**б** – с засыпанным утеплителем (1 - несущая многопустотная или сплошная плита; 2 – утеплитель - керамзит, доменный шлак; 3 – цементная или асфальтовая стяжка; 4 – четыре слоя рубероида на горячей битумной мастике; 5 - светлый гравий в битуме);

Рис. 1.3 Конструкции совмещенных покрытий

Комплексные панели покрытий повышенной заводской готовности (рис.1.4) совмещают несущие, паро- и теплоизоляционные функции. Они состоят из двухслойных плит, нижний слой (несущая основа) которых – из тяжелого железобетона, верхний — из ячеистого бетона или керамзитобетона, пенопласта, фибролита. Комплексные панели могут быть различных конструкций. В качестве несущей основы иногда применяют сборную предварительно напряженную плиту. Пароизоляцией служит рубероид марок РПП-300А (Б; В) и РПЭ-300. Комплексные панели покрытий повышенной заводской готовности позволяют исключить в построечных условиях операции по устройству паро- и теплоизоляции, цементно-песчаной стяжки, грунтовки основания и выполнения гидроизоляционных слоев [1].

В качестве несущей основы иногда применяют сборную предварительно напряженную плиту. Пароизоляцией служит рубероид марок РПП-300А (Б; В) и РПЭ-300.



1 - кровельный ковер; 2 - стяжка; 3 - теплоизоляция; 4 - пароизоляция; 5 - несущая плита

Рис. 1.4. Комплексная панель покрытия повышенной заводской готовности

Совмещенные крыши бывают:

- неветилируемые, отличающиеся простотой устройства, но требующие в построечных условиях защиты утеплителя от увлажнения;
- частично вентилируемые через поры или каналы в толще панели;
- вентилируемые, имеющие каналы (прослойки), предназначенные для сушки утеплителя и предупреждения вздутий рулонного ковра кровли.

Неветилируемые крыши (называемые ранее теплыми) - это однослойные крыши, в которых утеплитель и кровля лежат на несущей конструкции [23]. Неветилируемые совмещенные покрытия могут иметь два конструктивных решения — с теплоизоляцией, отдельной от несущей конструкции и совмещенной с ней. В конструкцию неветилируемого совмещенного покрытия входит: несущая плита; пароизоляция — битумная мастика или рулонные материалы; утеплитель — 2-х слойный (шлак, а по верху — плитный утеплитель). Толщина принимается по расчету; выравнивающая стяжка из цементно-песчаного раствора или асфальтобетона толщиной 15-20 мм, если утеплитель сыпучий — стяжка 25-30 мм с армирующей сеткой; рулонная кровля. Неветилируемые крыши применяют в тех случаях, когда исключается накопление влаги в покрытии в период эксплуатации. Такие покрытия могут выполняться с теплоизоляцией,

совмещенной с несущей конструкцией (рис.1.5).

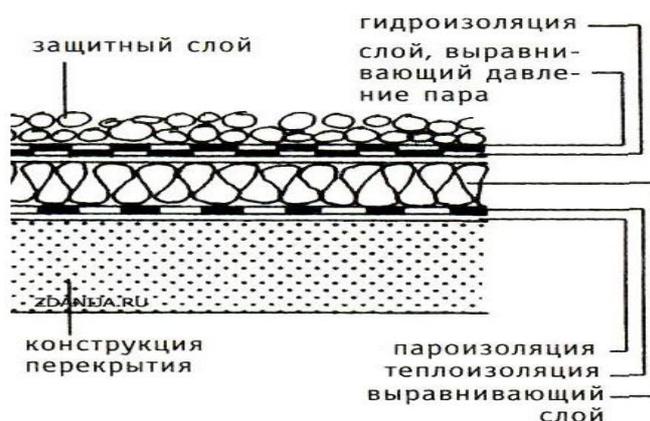


Рис.1.5 Неинтервированная крыша

Пароизоляционный слой в виде одного или двух слоев рубероида или пергамина на мастике предусматривают для защиты теплоизоляции от увлажнения водяными парами, проникающими со стороны внутренних помещений. В качестве утеплителя применяют плитные или сыпучие теплоизоляционные материалы. При выборе теплоизоляционных материалов учитывают их прочность и деформационные свойства под действием эксплуатационных нагрузок. Поверх теплоизоляции делают выравнивающий слой (стяжку) из цементного раствора. По стяжке устраивают кровлю. Ее выполняют из рулонных кровельных материалов в несколько слоев. Наклеивают их на холодную или горячую мастику. Для защиты гидроизоляционного ковра от повреждений делают защитный слой в виде насыпок из песка или мелкозернистого гравия, втопленного в верхний слой мастики, или слоя рубероида.

Утеплителем для неинтервированных совмещенных крыш служат доменные и котельные шлаки средней плотностью  $500 - 1000 \text{ кг/м}^3$ , керамзит, пенокерамзит, пеностекло, пенобетон и др.

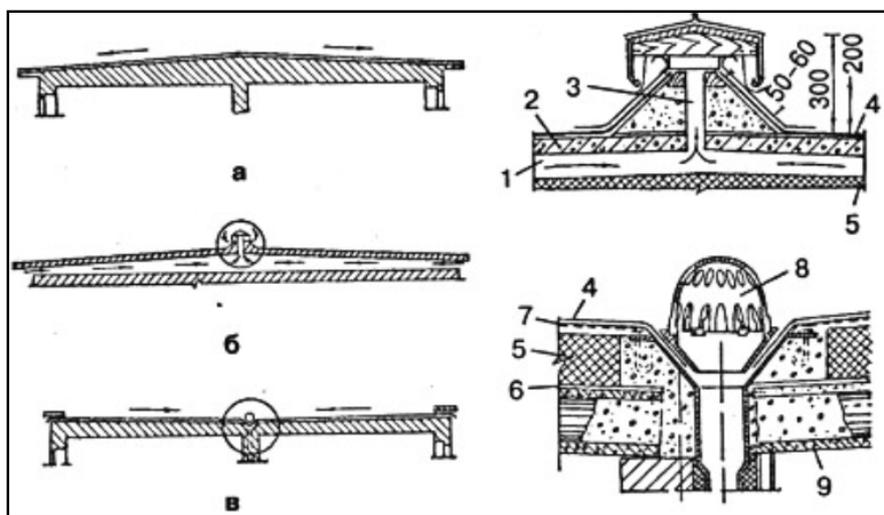
Неинтервированные крыши построечного изготовления всегда имеют пониженные эксплуатационные свойства относительно вентилируемых [23].

Теплые покрытия устраивают над отапливаемыми помещениями с нормальной и повышенной (более 70-75%) влажностью воздуха [26]. Отвод

талой воды с покрытия делают наружным: организованным или неорганизованным (рис.1.6).

Другим особым типом плоской неветилируемой крыши является инверсионная крыша. Гидроизоляция в ней находится под слоем теплоизоляции для защиты от неблагоприятных погодных воздействий. Конструктивное решение покрытия с кровлей в инверсионном варианте включает: железобетонные сборные или монолитные плиты; кровельный ковер; теплоизоляцию; разделительный (фильтрующий) слой — холст из синтетических волокон; пригруз из гравия или бетонных плиток из расчета 5,0 МПа (рис.1.7).

В конструкции «инверсионной» кровли гидроизоляционная мембрана защищена от температурных воздействий (перепады температуры, предельные значения, циклическое замораживание-оттаивание), от разрушающего воздействия УФ - облучения и механических повреждений, а к преимуществам можно отнести: возможность быстрого монтажа при любой погоде, отсутствие необходимости в пароизоляционном слое [22].



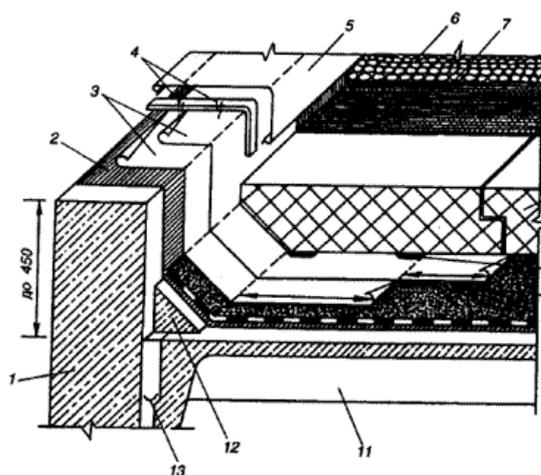
**а** — неветилируемая крыша с наружным неорганизованным водосбросом;

**б** - ветилируемая крыша с наружным неорганизованным водосбросом;

**в** — неветилируемая крыша с внутренним отводом воды; 1 — приточное вентиляционное отверстие; 2 — основание под гидроизоляционный ковер; 3 — вытяжное вентиляционное отверстие; 4 — гидроизоляционное вентиляционное отверстие; 5 — утеплитель; 6 — пароизоляция; 7 — арматурная сетка в слое цементного раствора; 8 — воронка внутреннего водостока; 9 — несущие конструкции крыши.

Рис.1.6 Схемы и детали совмещенных крыш

При реализации концепции «инверсионной» кровли возможно создание «зеленых» крыш, эксплуатируемых террасных конструкций вплоть до организации автостоянок путем использования теплоизоляционных плит (экструдированного пенополистирола) различной прочности на сжатие (возможные нагрузки до 70 тонн на квадратный метр) [22].



- 1-стена; 2-грунтовка; 3-дополнительный кровельный ковёр; 4-дюбели;
- 5-оцинкованная кровельная сталь;
- 6-пригруз из гравия; 7-предохранительный (фильтрующий) слой из синтетического холста;
- 8-теплоизоляция из экструдированного пенополистирола;
- 9-точечная приклейка теплоизоляции;
- 10-основной кровельный ковёр;
- 11-сборная железобетонная плита покрытия; 12-легкий бетон; 13-

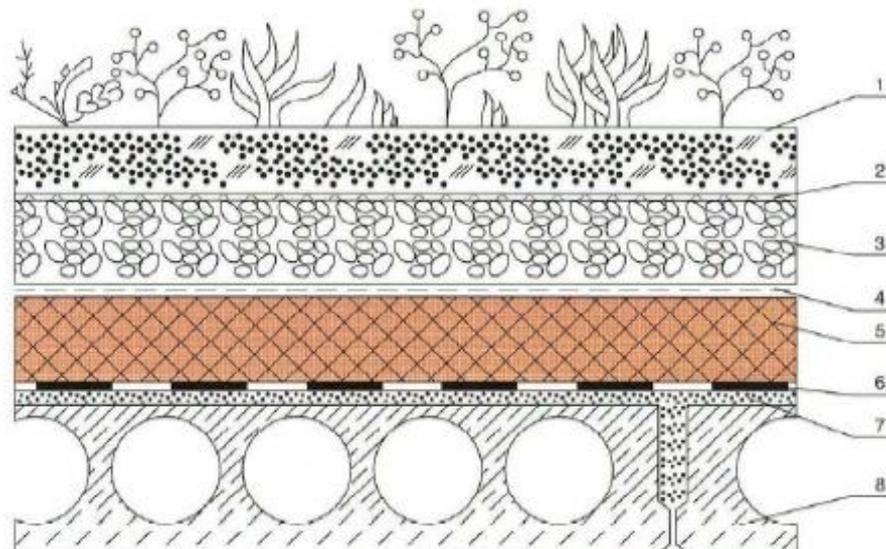
гидроизоляционная прокладка.

Рис.1.7 Инверсионная кровля с теплоизоляцией из экструдированного пенополистирола

В жарких климатических районах при строительстве зданий находят применение озелененные крыши (рис.1.8). В этом случае поверх теплоизоляционного покрытия укладываются по очереди фильтрующий слой из геотекстиля, дренирующий слой из гравия или вспененного перлита, противокорневой слой из геотекстиля и слой почвенного субстрата. Высаживать на такую кровлю можно только специально предназначенные для этого растения [27].

Обычным недостатком почти всех крыш является их перегрев под непосредственным воздействием солнечных лучей. Озелененная крыша от этого недостатка избавлена благодаря воздушной подушке, которая образуется травой, достигающей высоты 30 см и дающей дополнительную теплоизоляцию [1]. Кроме того, в травяной крыше происходит частичное саморегулирование теплового режима за счет испарения: чем выше

температура, тем интенсивнее испарение и, соответственно, теплотраты на него. Также снижается температура воздуха в летнее время (в среднем, до 10<sup>0</sup>С) и исключается выделение опасных для здоровья человека летучих веществ и соединений из битумных кровельных материалов.



1 – растительный слой; 2 – противокорневой слой; 3 – дренажный слой; 4 – фильтрующий слой; 5 – теплоизоляционные плиты «ПЕНОПЛЭКС»; 6 – гидроизоляционный слой; 7 – уклонообразующая цементно-песчаная стяжка; 8 – железобетонная плита покрытия.

Рис.1.8 Устройство инверсионной кровли с озеленением

Однако постоянно поддерживать жизнеспособность озелененной крыши очень трудно. Поэтому более органичными выглядят предложения по организации озелененных крыш в жилых зданиях переменной этажности, в которых крыша пространственно расчленяется на ряд расположенных на различных уровнях относительно небольших по площади частей, что позволяет превратить их в индивидуальные озелененные участки [1].

Основной проблемой инверсионных кровель является влага, которая практически всегда присутствует между тепло- и гидроизоляцией. Она способствует образованию растительного слоя, зачастую нарушающего герметичность кровли, создавая разрывы, через которые происходит инфильтрация воды. К тому же даже очень тонкая прослойка воды между тепло- и гидроизоляцией приводит к уменьшению термического сопротивления конструкции, которое может оказаться весьма существенным

[23].

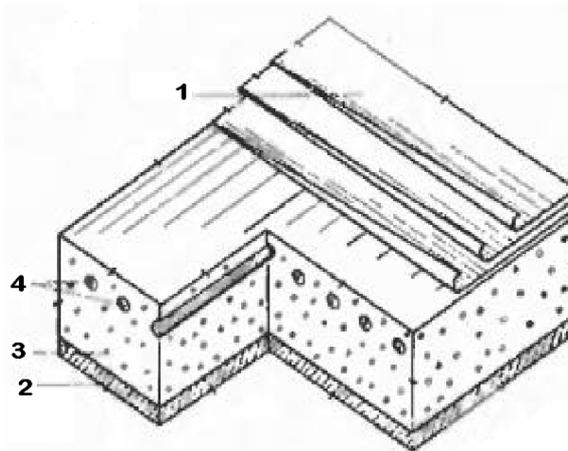
Невентилируемые совмещенные покрытия, несмотря на ряд производственных преимуществ и высокие технико-экономические показатели, в отапливаемых зданиях применяются ограниченно. Причиной являются неудовлетворительный температурно-влажностный режим таких покрытий, а также возможность образования наледей и постепенного разрушения верхних слоев кровли при попеременном перегреве и охлаждении ее. Эти недостатки в меньшей мере проявляются в покрытиях, где несущими конструкциями служат настилы и панели с круглыми, овальными, вертикальными и другой формы пустотами.

Невентилируемые совмещенные покрытия рекомендуются в тех случаях, когда благодаря применению конструктивных мероприятий исключается прогрессирующее в процессе эксплуатации накопление в покрытиях влаги.

Как было упомянуто выше, совмещенные покрытия бывают также вентилируемые и частично вентилируемые. Вентилируемые совмещенные покрытия рекомендуется применять в районах с расчетными температурами ниже минус  $30^{\circ}$  (для удаления водяных паров), а также в жарком климате (для проветривания и охлаждения). Вентилируемая крыша на 30 – 35% дороже бесчердачной глухой и является более трудоемкой. Однако устройство ее в условиях, указанных выше, а также над влажными помещениями является необходимым [23].

Вентилируемые совмещенные покрытия проветриваются через воздушные прослойки, щели или каналы, предусматриваемые в толще покрытия и вентилируемые наружным воздухом, который поступает через специально устраиваемые продухи.

Частично вентилируемые покрытия имеют в материале панели поры или каналы, расположенные в верхней толще панели (рис. 1.9).



1 — гидроизоляционный 3 - 5 слойный рулонный ковер с защитным слоем из мелкого гравия, вбитого в битум; 2 — плоская несущая железобетонная плита; 3—мопс из легкого бетона; 4 — цилиндрические каналы диаметром 30 — 40 мм.

Рис. 1.9 Конструкции частично вентилируемой крыши

Воздушная прослойка уменьшает влияние солнечной радиации в летний период и снижает влагонакопление в теплоизоляционных слоях покрытия в зимний.

В конструкцию покрытия с вентилируемой воздушной прослойкой входят следующие слои, считая от нижней поверхности: несущая плита, теплоизоляционный слой, вентилируемая прослойка, наружный экран, гидроизоляция, верхний защитный слой (рис.1.10). В зависимости от климатических условий района строительства, назначения здания и его температурно-влажностного режима, вида используемых материалов и т. п. некоторые слои могут отсутствовать или совмещаться в одном слое [24].

Воздушные прослойки устраивают с выводом приточных отверстий в карнизной части крыши, а вытяжных — в коньковой либо карнизной на минераловатных, фибролитовых, камышитовых и других плитах и матах, а также в виде самонесущих армированных плит из ячеистого бетона. Практикуются покрытия из ребристых железобетонных панелей, к которым подвешены щиты из листов сухой штукатурки с уложенным поверх них минеральным наполнителем. Потолок может быть подвешен с помощью брусков, забетонированных в ребра плит, или выпусков арматуры, к которым прививают (привязывают) щиты [24].

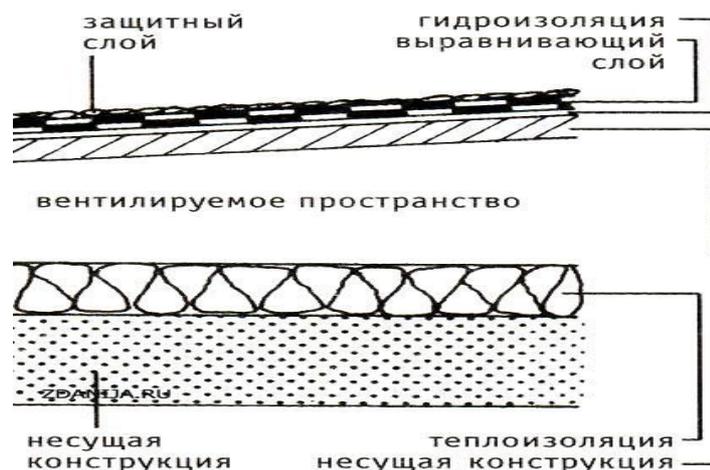


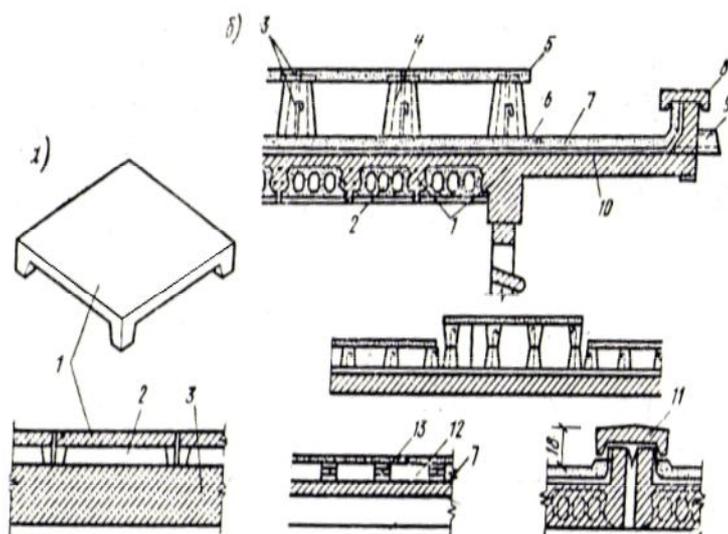
Рис. 1.10 Конструктивное решение вентилируемой крыши

Вентилируемые покрытия могут выполняться по нескольким конструктивным схемам: составными из нескольких отдельных слоев с расположением теплоизоляционного слоя и воздушной прослойки над несущими элементами или под ними, сплошными с внутренними вентиляционными каналами [25].

Теплотехнический эффект вентилируемого покрытия достигается при расходе воздуха через прослойку 300 – 350 кг/ч. В связи с этим вентилируемые покрытия следует проектировать для районов, где скорость ветра в дневные часы не ниже 3 м/с. Высота воздушной прослойки крыши в этом случае может быть равна 10 – 15 см. При скорости ветра ниже 3 м/с, но не менее 1,5 м/с, она должна быть увеличена до 30 – 35 см.

Вентиляционные отверстия необходимо закрывать решеткой или сеткой. В вентилируемых покрытиях зданий шириной более 20 м рекомендуется вытяжные шахты. При искусственной вентиляции помещений под вентилируемыми крышами должно быть пониженное давление. В противном случае тепло из помещений будет выдавлено в воздушную прослойку крыши [1].

Наиболее удачным решением является железобетонная монолитная плита толщиной более 10 см, по которой уложен гидроизоляционный ковер с армоцементным защитным слоем. В качестве противорадиационной защиты могут быть использованы бетонные плитки, укладываемые на угловые утолщения самих плиток (рис.1.11 а) или на специально установленные для этих целей бетонные столбики (рис.1.11 б).



**а** – устройство крыши с покрытием из противосолнечных плиток; 1–солнцезащитная плитка; 2 – воздушная прослойка; 3 – железобетонная плита покрытия;

**б** – двойные вентилируемые крыши; 1 - железобетонная монолитная плита; 2 – керамические блоки; 3 – выпуски арматуры; 4 – бетонные пустотелые столбики; 5 – плитки из легкого бетона; 6 – армированная цементная стяжка; 7 – гидроизоляция; 8 – бетонный бортик; 9 - керамический или цементный лоток; 10 - цементная стяжка; 11 – латунный компенсатор; 12 - керамические блоки; 13 – кирпичные столбики.

Рис. 1.11 Пример конструктивного решения устройства вентилируемой воздушной прослойки

Вентилируемая воздушная прослойка между железобетонной плитой и бетонными плитками резко снижает тепловое напряжение и температуру нижней поверхности покрытия, а также повышает теплозащитные свойства.

Ограждение не должно осложнять конструкцию кровли и мешать вентиляции пространства покрытия (рис.1.12).



Рис.1.12 Ограждение плоского покрытия, обеспечивающее беспрепятственное движение воздуха по его поверхности

Особенностью вентилируемой совмещенной крыши является постоянно проветриваемая полость, высотой не менее 5 см, над теплоизоляционным слоем. Для устройства этой полости предусматривают еще одно легкое покрытие. Характерно, что такая крыша не требует пароизоляционного слоя.

Утеплителем для вентилируемых крыш, в которых отсутствует уплотнение их вышележащими слоями, могут быть, например, минераловатные плиты или фибролит цементный [24].

Вентилируемое совмещенное покрытие также применяется над зданиями с избыточной влажностью (баня, прачечная, бассейн). В гражданских зданиях рекомендуется применять вентилируемые, частично вентилируемые или с полупроходным чердаком крыши [25].

В последнее время широкое распространение получили, так называемые, двойные покрытия (рис.1.13), пригодные для строительства в жарком сухом климате, выполненные в виде второй кровли, расположенной над основной.

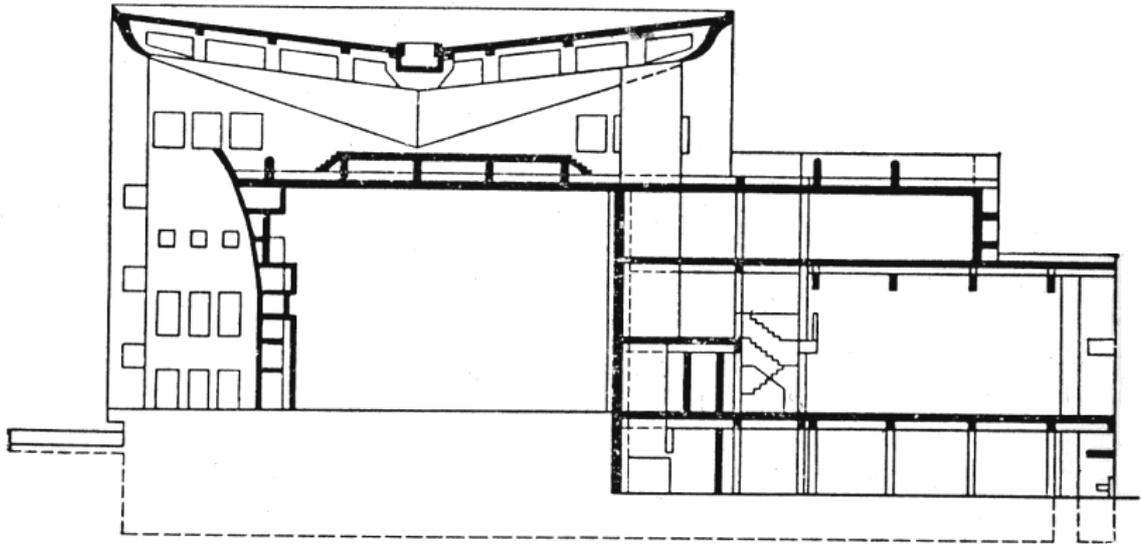


Рис. 1.13 «Кровля- бабочка» над зданием Верховного суда в Чандигархе  
(Индия)

Верхняя оболочка двойного покрытия затеняет нижнюю и воспринимает радиационную теплоту. Пространство между двумя оболочками, омываемое потоками свободно циркулирующего воздуха и уносящего с собой избыток теплоты, защищает оболочку от перегрева.

Определенный эффект дают также крыши – козырьки в виде наклонных экранов из листовых материалов. Их уклон и ориентация еще значительно ослабляют тепловое действие на кровлю. Наиболее интенсивное проветривание обеспечивается при угле  $10^{\circ}$ . В этом случае получается максимальное вихреобразование. При иных углах возникают застойные зоны, в которых скорость воздуха падает [14].

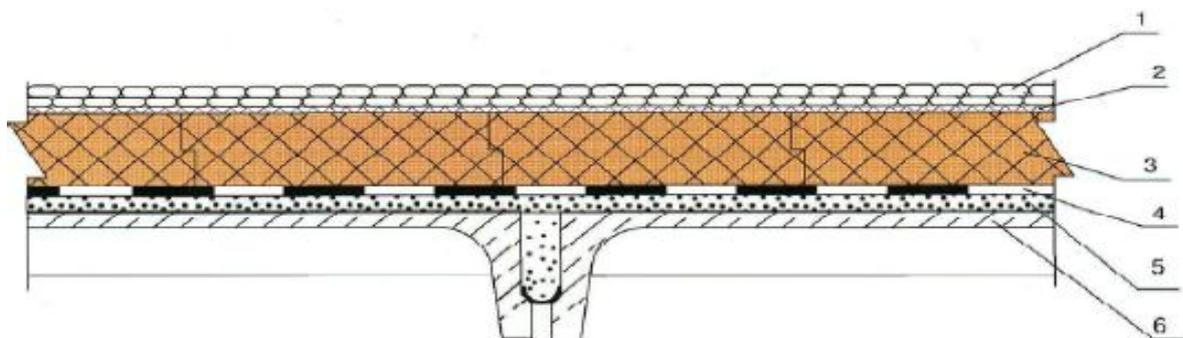
Производственное объединение «ПЕНОПЛЭКС» для теплоизоляции крыш предлагает плиты «ПЕНОПЛЭКС», изготовленные из экструзионного вспененного полистирола. Коэффициент теплопроводности плит составляет  $(0,028 - 0,030)$  Вт/(м  $^{\circ}$ С), средняя плотность –  $(35 - 45)$  кг/м<sup>3</sup>. Плиты обладают малым водопоглощением.

Рассмотрим три вида кровель, предлагаемых объединением «ПЕНОПЛЭКС». В качестве современной энергоэффективной конструкции

крыш объединение «ПЕНОПЛЭКС» предлагает инверсионные кровли.

Теплоизоляционные плиты «ПЕНОПЛЭКС» не впитывают влагу, не набухают, не дают усадки, обладают высокой механической прочностью, химически стойки и не подвержены гниению. При расположении сверху защищают гидроизоляцию от внешних воздействий. В результате слой гидроизоляции не испытывает существенных температурных перепадов, так как и зимой и летом находится в зоне положительных температур; надежно защищен от непосредственных механических воздействий и ультрафиолетового излучения.

При устройстве инверсионной кровли с гравийной засыпкой (рис. 1.14) гидроизоляционный ковер настилается на подуклонную стяжку, выполняемую из легкого бетона или цементно-песчаного раствора. Поверх гидроизоляции плотно друг к другу укладываются теплоизоляционные плиты «ПЕНОПЛЭКС». Применение специальной конструкции плит со ступенчатым торцом «в четверть» исключает возможность возникновения «мостиков холода». Поверх плит укладывается фильтрующий слой из геотекстиля. Над геотекстилем устраивается засыпка из гравия (фракции 25 – 32 мм), которая играет роль пригрузочного слоя.



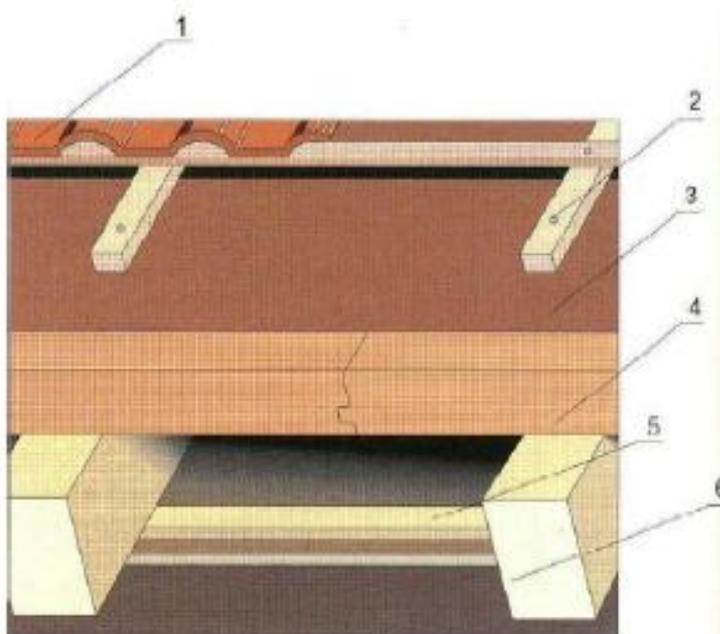
1 – пригрузочный слой из гравия; 2 – фильтрующий слой из геотекстиля;  
3 – теплоизоляционные плиты «ПЕНОПЛЭКС»; 4 – рулонная гидроизоляция;  
5 – уклонообразующий слой из легкого бетона или цементно-песчаного раствора; 6 – железобетонная плита покрытия

Рис. 1.14 Устройство инверсионной кровли с гравийной посыпкой

Устройство инверсионной кровли с озеленением (рис 1.8) наиболее целесообразны в жарких климатических районах при строительстве зданий

со ступенчатыми открытыми небосводу летними помещениями (террасами). В этом случае поверх теплоизоляционного покрытия укладываются по очереди фильтрующий слой из геотекстиля, дренирующий слой из гравия или вспененного перлита, противокорневой слой из геотекстиля и слой почвенного субстрата. Высаживать на такую кровлю можно только специально предназначенные для этого растения.

Устройство стропильной кровли теплоизоляционными плитами «ПЕНОПЛЭКС» (рис 1.15) рекомендуется применять поверх стропил, тем самым, изолируя всю площадь крыши. Крепление теплоизоляционных плит осуществляется механическим способом (гвоздями). Гидроизоляционный ковер располагается по подготовленной обрешетке над теплоизоляцией. В случае если поверх стропил укладывается тонкий слой теплоизоляционных плит, то дополнительная теплоизоляция может быть выполнена в виде заполнения теплоизоляционными материалами межстропильного пространства. Возможно применение теплоизоляционных плит с креплением к стропилам изнутри, что обеспечит дополнительную теплоизоляцию уже существующей реконструируемой кровле. В таких случаях необходимо обеспечить качественное выполнение вентиляции мансардного этажа.



- 1 - покрытие кровли (например, металлочерепица);
- 2 – обрешетка;
- 3 – паропроницаемая влагостойкая мембрана;
- 4 – теплоизоляция «ПЕНОПЛЭКС»;
- 5 – внутренняя обшивка (например, гипсокартон);
- 6 – стропила

Рис.1.15 Устройство стропильной кровли

В настоящее время при реконструкции гражданских зданий часто совмещенное покрытие заменяют скатной чердачной крышей (рис.1.16). Выбор теплоизоляционных материалов для крыш производится в зависимости от типа кровельного покрытия с учетом требований нормативных документов на кровли и пожарную безопасность. Так, например, для теплоизоляционных материалов, выполняющих одновременно функции основания под рулонные и мастичные кровли, прочность на сжатие является нормируемым показателем. Прочность теплоизоляционных материалов, которые могут применяться для утепления скатных крыш, не нормируется, поскольку теплоизоляция укладывается в обрешетку и не несет нагрузки от кровли.



Рис.1.16 Замена плоской крыши скатной при реконструкции

Под рулонную или мастичную кровлю могут укладываться минераловатные плиты повышенной жесткости или жесткие стекловолоконные маты, пенополистирольные плиты, вспененное стекло, пенобетон. Для утепления скатных крыш рекомендуется использовать

гидрофобизированные изделия из минеральной ваты горных пород или изделия из стеклянной ваты, экструдированный пенополистирол. Для укладки утеплителя в плоских крышах может быть применено два способа.

При первом способе – укладка всего утеплителя осуществляется жесткими плитами одной марки. Для набора нужной толщины теплоизоляции утеплитель укладывается в несколько слоев, тем самым исключается возможность образования «мостиков холода» по стыкам плит утеплителя.

Второй способ – комбинированный – предусматривает утепление крыши плитами разной плотности. В нижнем слое находятся плиты меньшей средней плотности. В комбинированном варианте может также применяться система, состоящая из стекловолоконных и минераловолоконных плит. Данный вариант может включать в себя три функциональных слоя. Верхний слой – плиты с повышенной средней плотностью, второй – более мягкие, третий (нижний) слой – из плит с повышенной средней плотностью. Такой вариант применяют в том случае, когда несущие конструкции покрытия – не плоские, например, профнастил. Тогда нижний жесткий слой утеплителя не позволит среднему слою деформироваться по толщине над пустотами профнастила.

Для увеличения скорости процесса просушивания утеплителя рекомендуется применять теплоизоляционные плиты с пазами (рис.1.17). Правильно вентилируемая кровля предполагает наличие воздушных каналов, которые соотносятся с пазами теплоизоляционных плит (рис.1.18). Ветровое давление и перепад давлений вследствие разности высот и температур заставляют воздух двигаться по пазам каналов и собираться в коллекторы, которые располагаются в верхней плоскости кровли. При этом в верхних точках коллекторов устанавливают дефлекторы. Такой кровельной системой является система тепловой изоляции «PAROC».

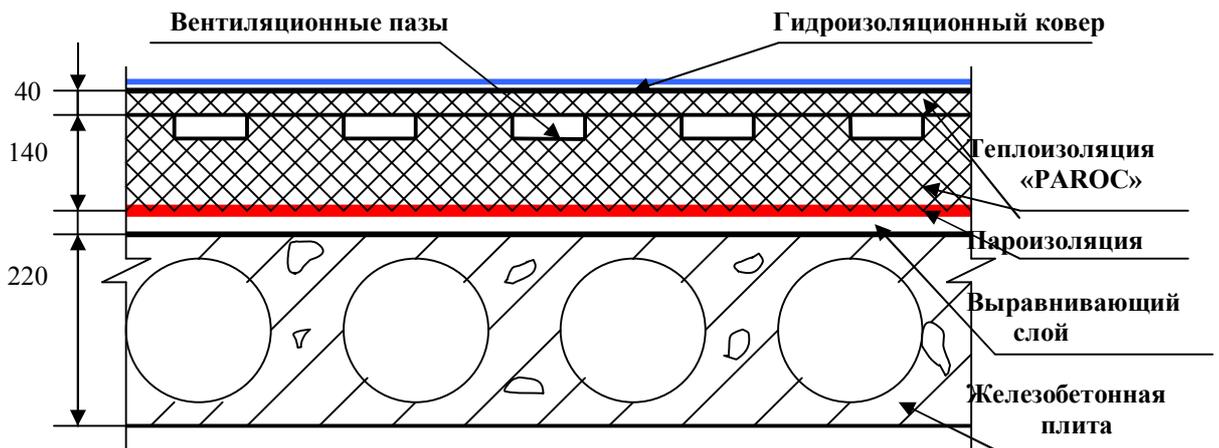


Рис.1.17 Деталь совмещенной вентилируемой крыши системы «ПАРОС»

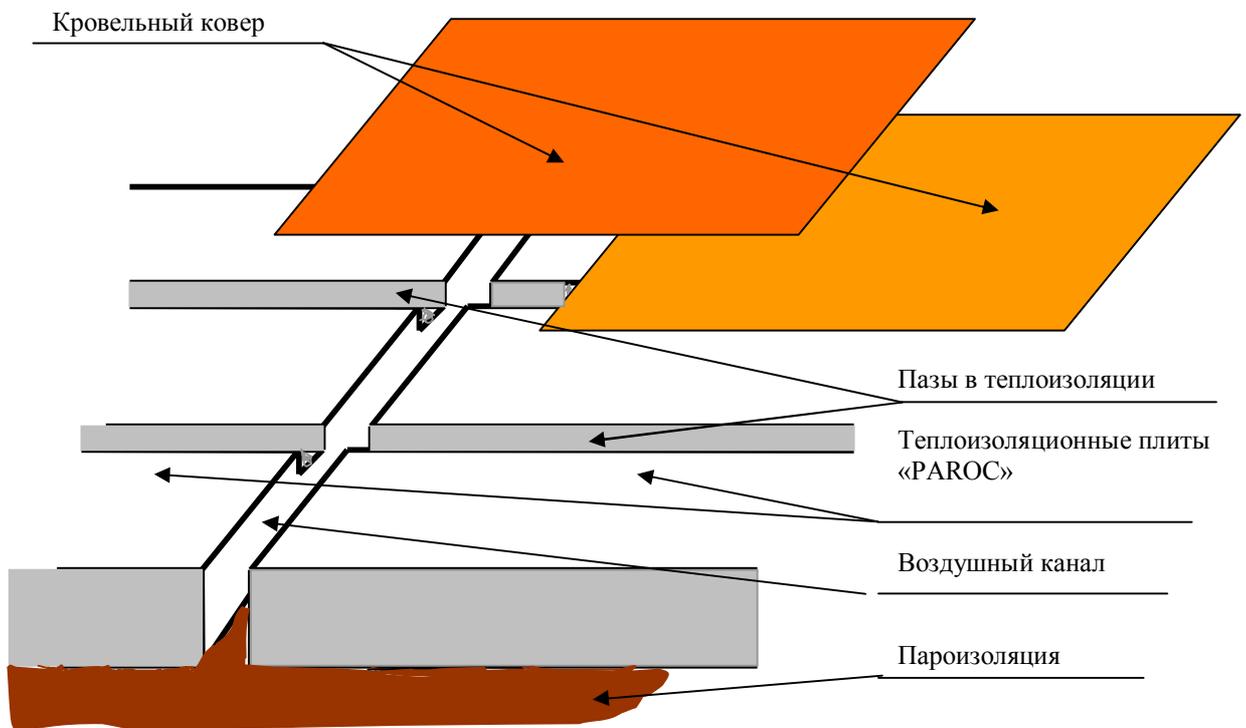


Рис.1.18 Устройство воздушных каналов в кровельной системе «ПАРОС»

Плиты теплоизоляции укладывают вразбежку по отношению друг к другу, чтобы избежать стыка четырех углов. К основанию (бетон, профнастил и т.п.) теплоизоляционные плиты крепят специальными элементами. Средняя

плотность теплоизоляционных плит из каменной ваты составляет от 95 до 230 кг/м<sup>3</sup>, а их теплопроводность – 0,042 Вт/м К. Конструктивное решение утепления скатных кровель в системе «PAROC» представлено на (рис.1.19). Аналогичное решение утепления крыш предлагает и датская компания «ROCKWOOL», выпускающая теплоизоляционные материалы на каменной основе (минеральная вата из базальтового волокна). Средняя плотность теплоизоляционных плит составляет (140 – 175) кг/м<sup>3</sup>, а теплопроводность – 0,037 Вт/м °С.

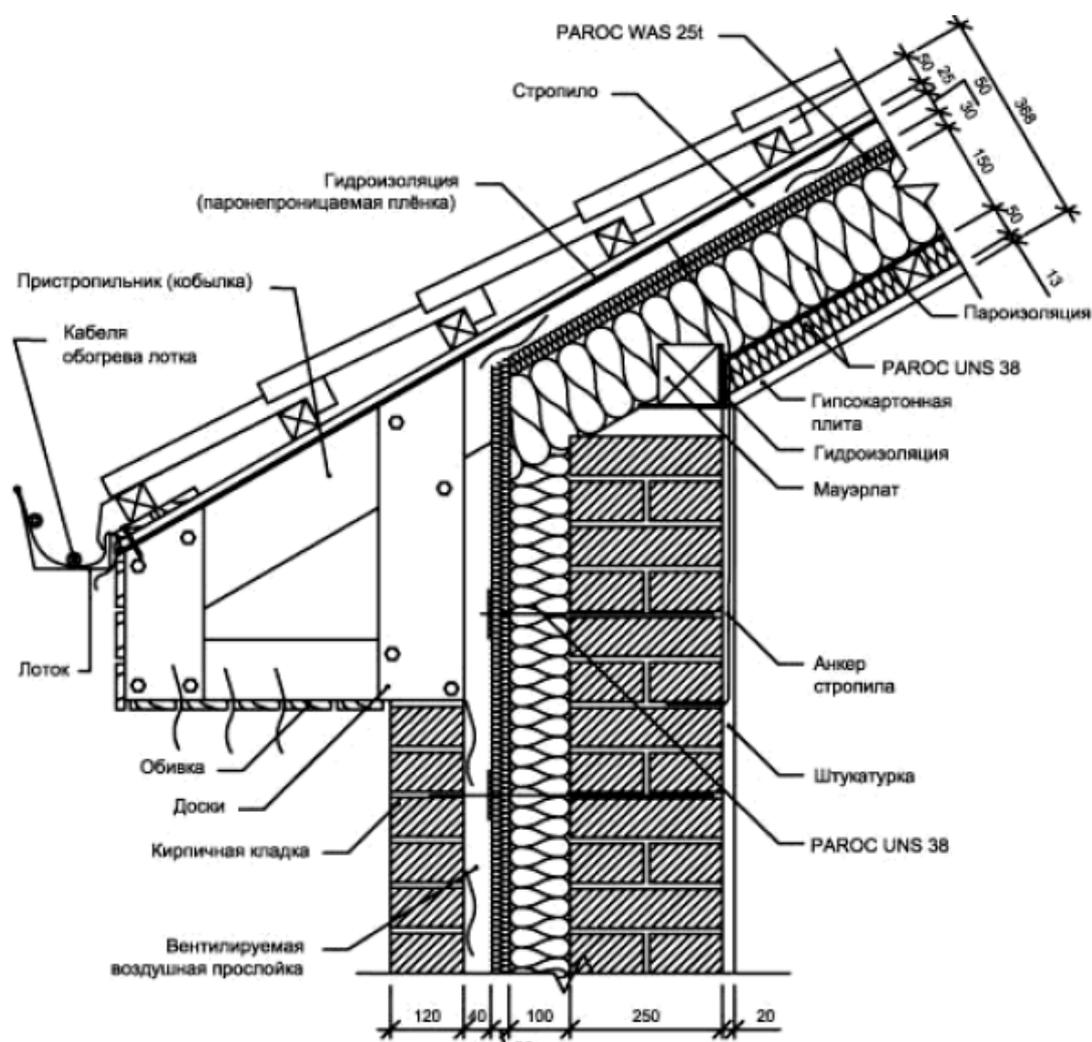


Рис.1.19 Техническое решение карнизного узла при утеплении здания системой «PAROC»

При плоских кровлях предусмотрено два типа утепления: однослойное и двухслойное. Теплоизоляционные плиты также укладываются по принципу «швы вразбежку». В местах примыкания теплоизоляционных плит к парапетам устраиваются переходные минераловатные бортики.

Теплоизоляция крепится на основании либо механически (с помощью шурупов «саморезов» или пластиковых дюбелей с металлическим сердечником), либо клеевым способом, либо посредством балласта.

В заключении можно отметить, что при выборе конструкции крыши предпочтение следует отдавать чердачным крышам. Хотя они стоят дороже бесчердачных, зато обладают целым рядом преимуществ: чердак позволяет регулярно следить за герметичностью водоизоляционного ковра; чердак дает возможность наблюдать за влажностным состоянием теплоизоляции, в случае необходимости производить просушку, например, проветриванием (открыванием слуховых окон); чердак делит конструкцию крыши, а соответственно и расчетную разность наружных и внутренних температур на две части. Так, если при совмещенном покрытии расчетный перепад температуры (от плюс  $18^{\circ}\text{C}$  до минус  $20^{\circ}\text{C}$ ) равен  $38^{\circ}\text{C}$ , то для чердачного перекрытия (при температуре на чердаке минус  $2^{\circ}\text{C}$ ) перепад будет  $20^{\circ}\text{C}$  (от  $18^{\circ}\text{C}$  до минус  $2^{\circ}\text{C}$ ), а для надчердачной крыши равен  $18^{\circ}\text{C}$  (от минус  $2^{\circ}\text{C}$  до минус  $20^{\circ}\text{C}$ ). Уменьшение температурного перепада воздуха, расположенного по обе стороны конструкции, улучшает ее эксплуатационный температурный и влажностный режим, а также способствует сохранности и долговечности.

А также на основании таблицы 1.1 в соответствии с СНиП 2.01.01-82 для г. Ташкент -соответствующему IV климатическому району, следует выбирать чердачную конструкцию крыши с открытым чердаком, рулонной и безрулонной кровлей.

### 1.3. Современные методы исследования теплозащитных свойств наружных ограждений

Традиционные методы исследований связаны с экспериментами, которые требуют больших затрат, сил и средств, так как являются «пассивными» - основаны на поочередном варьировании отдельных независимых переменных в условиях, когда остальные стремятся сохранить неизменными. Эксперименты, как правило, являются многофакторными и связаны с оптимизацией качества материалов, отысканием оптимальных условий проведения технологических процессов, разработкой наиболее рациональных конструкций оборудования и т.д. Системы, которые служат объектом таких исследований, очень часто являются такими сложными, что не поддаются теоретическому изучению в разумные сроки. Поэтому, несмотря на значительный объем выполненных научно-исследовательских работ, из-за отсутствия реальной возможности достаточно полно изучить значительное число объектов исследования, многие решения принимаются на основании информации, имеющей случайный характер, что приводит к результатам, далеким от оптимальных.

В связи с этим, у исследователей возникла необходимость поиска пути, позволяющего вести экспериментальную работу ускоренными темпами и обеспечивающего принятие решений, близких к оптимальным. Этим путем явились статистические методы планирования эксперимента, предложенные английским статистиком Рональдом Фишером (конец двадцатых годов прошлого столетия). Он впервые показал целесообразность одновременного варьирования всеми факторами в противовес широко распространенному однофакторному эксперименту [14].

В последние десятилетия большое распространение получило математическое моделирование теплофизических процессов, основанное на идентичности дифференциальных уравнений, описывающих явление в оригинале и модели, отличающихся по своей природе. Главное преимущество математического моделирования перед

физическим заключается в возможности исследовать явления природы, трудно поддающиеся изучению, используя хорошо изученные явления. При математическом моделировании более наглядно, чем при физическом моделировании, осуществляется индикация и регистрация результатов исследований. Здесь можно просто варьировать в широких пределах исходные данные задачи для выбора оптимальных (по заданному критерию) параметров исследуемой системы. Время решения задачи, по желанию исследователя, может быть изменено в широких пределах.

Распределение температуры  $T$  в пространстве и времени в твердых изотропных телах при отсутствии внутренних источников или стоков теплоты описывается в общем случае нелинейным уравнением теплопроводности

$$\operatorname{div}(\lambda(T)\operatorname{grad} T) = c(T)\rho(T)\partial(T)/\partial\tau \quad (1.1)$$

где  $\lambda$  - теплопроводность тела;  $c$  - его удельная массовая теплоемкость;  $\rho$  - плотность;  $\tau$  - время.

Если теплофизические характеристики исследуемого тела слабо зависят от температуры и их можно считать постоянными, то уравнение (1.1) превращается в линейное уравнение теплопроводности, или, как его обычно называют, уравнение Фурье в нестационарном случае:

$$a\nabla^2 T = \partial T / \partial \tau,$$

где:  $a = \lambda/c\rho$  - температуропроводность;  $c_v = c\rho$  - удельная объемная теплоемкость, и в уравнение Лапласа  $\nabla^2 T = 0$  - в стационарном.

Преобразование математической модели процесса теплопроводности проводится с целью приведения ее к виду, более удобному для вычислительной реализации. К традиционно применяемым в моделировании преобразованиям относится, в первую очередь, перевод математической модели из одной координатной системы в другую. Реже применяется конформное преобразование плоской области. В случае линейных тепловых процессов используются различные интегральные, дифференциальные или линейные функциональные преобразования.

При решении нелинейных задач используются преобразования, полностью или частично линеаризирующие исходную математическую модель. К таким преобразованиям относятся подстановки Кирхгофа, Гудмена, Шнейдера, Больцмана и др.

Если задача теплопроводности ставится как прямая, система уравнений математической модели решается относительно функции температуры от координат и времени для всех или только выбранных точек поля, включая граничные. Решение ПЗТ (прямых задач теплопроводности) в простейших случаях может быть получено аналитически в виде функциональной зависимости  $T(x, y, z, t)$ , в которую величины, характеризующие начальное и граничные условия, геометрию и теплофизические характеристики, входят в качестве параметров. Однако чаще всего задача оказывается настолько сложной, что использование аналитических методов требует упрощения математической модели. При этом каждый раз нужно решать вопрос о степени допустимого упрощения при сохранении достоверности модели. Кроме того, не всякий аналитический метод является точным, т. е. может давать решение без использования на каком-то этапе элементов численных методов. Обычно приходится иметь дело с приближенными аналитическими методами, в которых окончательный результат может быть получен только с помощью численного расчета интегралов, обращения плотно заполненной матрицы и т.п. Из числа аналитических методов наиболее часто применяются метод разделения переменных и его модификации, метод функций Грина и метод тепловых потенциалов, а также приемы, использующие преобразования Лапласа и Фурье. Практически им под силу лишь решение линейных задач для областей простой геометрии. Для приближенного аналитического решения задач нелинейной теплопроводности чаще других используются вариационные методы, состоящие в том, что задачу, описываемую уравнениями в частных производных, заменяют эквивалентной вариационной задачей поиска минимума, который характеризует данный тепловой процесс.

Наиболее часто уравнение теплопроводности упрощается с помощью преобразования Кирхгофа (2).

$$\Theta = \int_0^T \lambda(T) dT \quad (2)$$

Оно дает возможность избавиться от нелинейности в левой части уравнения теплопроводности. Правда, уравнения граничных условий из-за этой операции иногда становятся сложнее.

Тем ни менее существенно сокращается объем вычислений, появляется возможность упростить структуру моделирующих средств.

Одним из современных методов обследования строительных конструкций является термографический, позволяющий оценить изменение и однородность свойств ограждающих конструкций и, как следствие, определить степень их износа и снижения теплозащитных свойств. Образно говоря, томография позволяет заглянуть внутрь наблюдаемого объекта.

Томография или термография – способы регистрации различного вида излучений. Когда регистрируемое излучение не конкретизируется (или в силу традиции является рентгеновским) говорят, как правило, о томографии. Когда же сканирование осуществляется в инфракрасном диапазоне длин волн – говорят о термографическом способе исследования. Для каждого вида излучения характерны свои специфические особенности, которые проявляются в постановке томографического эксперимента и его аппаратной реализации. Общим для всех способов использования того или иного участка спектра в томографии, или восстановления изображения по его спектральному образу, является то обстоятельство, что сама процедура восстановления изображения описывается очень близкими математическими зависимостями. Именно это обстоятельство позволяет говорить о томографии, как о целом направлении в области получения и обработки информации. При этом, абстрагируясь от конкретного вида излучения, основная проблема томографии может быть сформулирована в виде: «Как по полученным в томографическом (термографическом) эксперименте проекционным данным (образа изображения) восстановить изображение

внутренней структуры объекта».

Термография поверхности ограждающих конструкций – это «дело тонкое» и даже на качественном уровне, не говоря о количественных оценках, описание ее результатов требует высокой квалификации. Дело в том, что тепловое изображение может меняться в зависимости от состояния окружающей среды: «горячие» и «холодные» участки могут появляться, исчезать и даже меняться местами. Кроме того, изображения сканируемых участков могут содержать фиктивные аномалии, значительно превышающие неоднородности реальной температуры поверхности зданий и сооружений надо учитывать и то обстоятельство, что могут изменяться свойства самой поверхности обследуемых сооружений, ее шероховатость, тип покрытия, оптические характеристики.

Поэтому полученное термографическое изображение должно подвергаться объективной (независящей от квалификации термографиста) обработке на базе разработанного универсального алгоритма с использованием современных методов обработки изображений, полученных в инфракрасной области спектра.

Методика натурального эксперимента проводится в естественных условиях и на реальных объектах. Этот вид эксперимента часто используется в процессе натуральных испытаний изготовленных систем. В зависимости от места проведения испытаний натурные эксперименты подразделяются на производственные, полевые, полигонные, полунатурные и т.д. Натурный эксперимент всегда требует тщательного продумывания и планирования, рационального подбора методов исследования. Центральными задачами натурального эксперимента являются: изучение характеристик воздействия среды на испытуемый объект; идентификация статистических и динамических параметров объекта; оценка эффективности функционирования объекта и проверка его на соответствие заданным требованиям.

В практике натуральных обследований жилых и общественных зданий

широкое применение нашел неразрушающий тепловизионный метод контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций [43, 44]. Однако вследствие изменчивости теплофизических величин, наблюдаемых в натуральных условиях по данным разовых (одномоментных) измерений, можно получить лишь качественную оценку теплозащитных свойств массивных стеновых конструкций, обладающих значительной тепловой инерцией. Причиной температурных аномалий на отдельных участках поверхности конструкции, выявляемых при тепловизионной съемке, могут быть структурные неоднородности материала и дефекты, такие как пустоты, мостики холода, чрезмерная влажность и теплопроводность материала в разных слоях конструкции, например, во внутреннем теплоизоляционном слое и другие факторы. Также достаточно широко в строительной практике применяют неразрушающий диэлькометрический метод контроля влажности и теплопроводности [45].

Диэлькометрический и тепловизионный методы измерений каждый по отдельности не позволяют проконтролировать процесс распределения влаги между слоями конструкции, происходящий в натуральных условиях в процессе эксплуатации зданий, в то время как совместное их применение в натуральных условиях открывает новые возможности определения теплозащитных качеств многослойных Ограждающих конструкций как в процессе строительства, так и в процессе эксплуатации современных зданий. Дальнейшее развитие методики [46], основанной на совместном использовании тепловизионных и диэлькометрических измерений, позволяет количественно оценить теплофизические характеристики отдельных слоев многослойных стен, влияющие на теплотехническое состояние ограждающей конструкции в целом и его соответствие нормативным требованиям.

Комплексное теплотехническое обследование ограждающих конструкций зданий с использованием тепловизионного и диэлькометрического методов контроля включает в себя:

- получение термограмм с помощью тепловизора, сканирующего температуры поверхностей ограждающих конструкций, между внутренними и наружными поверхностями которых имеется температурный перепад;
- измерение температур внутреннего и наружного воздуха;
- измерение теплового потока с помощью контактных датчиков (тепломеров);
- измерение фактических значений влажности и теплопроводности материала наружной и внутренней поверхностей конструкции диэлькометрическим методом;
- обработку полученных экспериментальных данных и вычисление сопротивлений теплопередаче как отдельных слоев, так и всей конструкции в целом.

Тепловизионному контролю подвергают наружные и внутренние поверхности ограждающих конструкций. По термограммам наружной поверхности ограждающих конструкций выявляют участки с температурными аномалиями, которые затем подвергают летальному обследованию и с внутренней стороны.

Измерения диэлькометрическим методом производят с помощью экспресс-измерителя, снабженного контактным емкостным датчиком, прикладываемым к поверхности контролируемого объекта.

Для практического использования описываемой методики используют следующие средства измерений (приборы): тепловизор — для визуализации тепловых полей и измерения температуры; термогигрометр — для измерения температуры и относительной влажности воздуха; многоточечный измеритель теплового потока в комплекте с контактными датчиками (тепломерами); диэлькометрический экспресс-измеритель влажности и теплопроводности строительных материалов в комплекте с контактным датчиком поверхностного типа.

После проведения натурных обследований проводят обработку

полученных экспериментальных данных. Обработка результатов диэлькометрических измерений заключается в нахождении среднеарифметических значений влажности и теплопроводности материала поверхностного слоя ограждающей конструкции для полученного массива локальных измерений отдельно по наружной и внутренней поверхностям. Обработка результатов тепловизионных измерений сводится к расшифровке термограмм. Расшифровку термограмм проводят либо с помощью компьютера по специальной программе, либо программными средствами, имеющимися непосредственно в тепловизоре. Расшифровки термограмм на компьютере не требуется, если полученные с помощью тепловизора значения температур на реперных участках совпадают с температурами, измеренными с помощью контактных датчиков.

Приведенное сопротивление теплопередаче отдельных слоев многослойной ограждающей конструкции находят путем выполнения следующих действий:

- измеряют фактические значения влажности ( $w_n$ ,  $w_v$ ) и теплопроводности ( $\lambda_n$ ,  $\lambda_v$ ) наружной и внутренней поверхностей слоев ограждающей конструкции. Вычисляют значения сопротивлений теплопередаче поверхностных слоев конструкции ( $R_n$ ,  $R_v$ ) по формулам  $R_n = \delta_n / \lambda_n$ ;  $R_v = \delta_v / \lambda_v$ , где  $\delta_n$  и  $\delta_v$  — толщина наружного и внутреннего поверхностных слоев, соответственно. Величины  $\delta_n$  и  $\delta_v$  известны, как правило, из проектной документации;
- измеряют температуру ( $t_n$ ,  $t_v$ ) на наружной и внутренней поверхностях конструкции и плотность проходящего через нее теплового потока ( $Q$ ) в условиях, близких к стационарной теплопередаче;
- вычисляют значение сопротивления теплопередаче всей конструкции ( $R_k$ ) по формуле  $R_k = \Delta t / Q$ , где  $\Delta t = t_v - t_n$
- вычисляют значение сопротивления теплопередаче внутреннего слоя теплоизоляции ( $R_t$ ) по формуле:  $R_t = R_k - 1/\alpha_v - 1/\alpha_n - R_n - R_v$

- вычисляют фактическое значение теплопроводности ( $\lambda_T$ ) утеплителя по формуле:  $\lambda_T = \delta_T/R_T$ , где  $\delta_T$  — толщина слоя теплоизоляции;
- вычисляют влажность утеплителя ( $w_T$ ) по формуле  $w_T = (\lambda_T - \lambda_{T0})/\Delta\lambda_w$ , где  $\lambda_{T0}$  — значение теплопроводности сухого утеплителя;  $\Delta\lambda_w$  — приращение теплопроводности на 1% влажности (значения  $\lambda_T$  и  $\lambda_{T0}$  берутся из приложения «Тепловая защита зданий».
- сравнивают полученное значение  $w_T$  с нормируемым значением допустимой влажности материала утеплителя по приложению Т СП 50.13330.2012 и делают вывод о соответствии (несоответствии) тепловой защиты обследуемой конструкции здания нормативным требованиям. Условия эксплуатации в зоне влажности А или Б в зависимости от региона.

Основные отличия и достоинства данной методики контроля теплофизических характеристик наружных ограждающих конструкций при обследовании зданий в натуральных условиях заключаются в следующем.

- позволяет в течение нескольких минут дать количественную оценку теплозащите ограждающих конструкций при обследованиях зданий;
- применима как к однослойным, так и к многослойным строительным конструкциям;
- вместе с экспериментально-расчетным определением приведенного сопротивления теплопередаче обследуемой конструкции позволяет получить фактические значения влажности и теплопроводности отдельных слоев, в том числе внутреннего теплоизоляционного слоя, что невозможно осуществить другими неразрушающими методами контроля.

Проанализировав существующие методы исследования теплозащитных свойств наружных ограждений, можно сделать вывод, что целесообразно в дальнейших исследованиях применить метод математического моделирования теплофизических процессов, а адекватность полученных зависимостей оценить методом натурального эксперимента, в частности модельного.

#### **1.4. Цели и задачи исследований**

В основу диссертационной работы положена следующая рабочая гипотеза: повышение теплозащитных свойств чердачных крыш может быть достигнуто путём устройства интенсивно вентилируемых пространств и использования покрытий с повышенной отражательной способностью.

В связи с изложенным предположением определена цель исследований: выявление особенностей формирования температурного режима чердачного помещения и разработка конструкции чердачной крыши, обеспечивающей сокращение энергозатрат на создание благоприятного микроклимата помещений верхнего этажа гражданского здания в климатических условиях Республики Узбекистан.

Исходя из поставленной цели исследований и анализа литературных данных были поставлены следующие задачи:

- 1) исследовать процессы формирования температурного режима чердачного пространства в условиях зимнего периода;
- 2) исследовать процессы формирования температурного режима чердачного пространства в условиях летнего периода;
- 3) установить экспериментальные зависимости влияния внешних и внутренних факторов на формирование температурного режима чердачного пространства;
- 4) выявить основные направления совершенствования конструкции чердачной крыши с точки зрения энергосбережения при эксплуатации зданий;
- 5) разработка конструктивного решения эффективной чердачной крыши для климатических условий Республики Узбекистан.

## 1.5. Выводы по главе

1. На формирование внутренней среды помещений гражданских зданий существенное влияние оказывает климат местности и теплозащитные свойства наружных ограждающих конструкций. При этом в условиях летней эксплуатации на территории Республики Узбекистан, находящейся в зоне сухого жаркого климата, особая роль отводится конструктивному решению покрытия (крыши), испытывающему наибольшее тепловое воздействие от солнечной радиации.

2. В объеме крыши протекают сложные теплофизические процессы, обусловленные резкими пространственными и временными колебаниями температуры, неоднородной солнечной облученностью ее поверхностей, диффузией и конвективным переносом водяного пара и т.п. В связи с этим, при разработке энергоэффективных покрытий, необходим учет особенностей формирования эксплуатационной среды для всех составляющих их элементов.

3. Наибольшее распространение в массовом гражданском строительстве получили совмещенные вентилируемые и невентилируемые покрытия, обладающие в основном недостаточными теплозащитными свойствами, особенно в летних условиях эксплуатации.

4. Возможными путями совершенствования покрытий гражданских зданий являются устройство в составе покрытия интенсивно вентилируемых пространств и нанесение на кровлю слоя с повышенной отражательной способностью.

5. Методы расчёта ограждающих конструкций, эксплуатируемых в условиях сухого жаркого климата, требуют уточнения из-за расхождения расчётных параметров с данными натурных испытаний.

6. Наиболее прогрессивным методом исследования особенностей формирования теплового режима чердачного пространства является метод математического моделирования теплофизических процессов.

## 2. МАТЕРИАЛЫ, КОНСТРУКЦИИ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1. Конструкции и материалы, принятые в исследованиях

В качестве предмета исследований выбрана конструкция совмещенного покрытия гражданского здания, расположенного на территории Республики Узбекистан.

Совмещенное покрытие представляет собой конструкцию, объединяющую вместе чердачное перекрытие и кровлю. Основными элементами совмещенной крыши являются настил, пароизоляция, утеплитель, и кровля. Теплотехнические характеристики используемых в исследованиях материалов представлены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Теплотехнические характеристики строительных материалов

Материал	Характеристики материала в сухом состоянии			Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации А)		
	плотность $\gamma_0$ , кг/м <sup>3</sup>	удельная теплоемкость $C_0$ , кДж/(кг <sup>0</sup> С)	коэфф. теплопроводности $\lambda_0$ , Вт/(мх <sup>0</sup> С)	теплопроводности $\lambda$ , Вт/(мх <sup>0</sup> С)	теплоусвоения $S$ , Вт/(м <sup>2</sup> х <sup>0</sup> С)	паропроницаемости $\mu$ , мг/(м х ч х Па)
Железобетонная плита	2500	0,84	1,69	0,92	17,98	0,03
Цементно-песчанная стяжка	1800	0,84	0,66	0,80	10,50	0,09
Пенополистирол	150	1,34	0,05	0,052	0,89	0,05
Рубероид	600	1,68	0,17	0,17	3,53	1,1
Кирпичная кладка из сплошного кирпича(глиняного обыкновенного)	1800	0,88	0,56	0,70	9,20	0,11
Полиизол	1400	1,68	0,27	0,2	6,8	0,008

А – параметр для сухого и нормального режима помещений.

## 2.2. Методика исследований теплового режима чердачного пространства крыши

### 2.2.1. Методика модельного эксперимента

Любое экспериментальное исследование может выполняться либо на натурном объекте, либо на модели, разработанной в соответствии с требованиями теории подобия. Натурные опыты, как правило, очень сложны и требуют больших затрат труда, времени и средств. Кроме того, эксперимент в натуральных условиях всегда «затемнен» второстепенными деталями, что существенно мешает установлению основных закономерностей.

В связи с этим, для проведения экспериментальных исследований была сконструирована и изготовлена установка, включающая макет совмещенного вентилируемого покрытия с плоской кровлей размером в плане (100 x 100) см (рис.2.1); имитатора действия ветра в виде вентилятора (рис 2.2); датчиков температуры для замеров поверхностной температуры частей конструкции покрытия (рис.2.4); крыльчатого анемометра (рис.2.3) для определения скорости движения воздуха, создаваемого вентилятором.

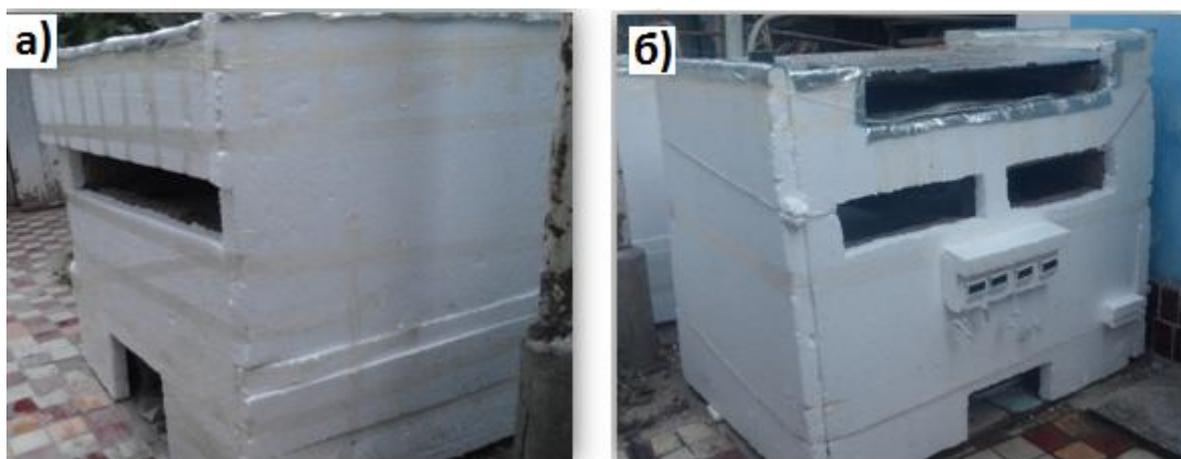


Рис.2.1 Конструкции макетов покрытия здания:  
а) эталонный вариант, б) предлагаемый вариант.



Рис.2.2 Вентилятор



Рис.2.3 Крыльчатый анемометр



Рис.2.4 Температурные датчики.

Материалы для изготовления обеих моделей были использованы одинаковые, за исключением кровельного слоя. В качестве несущих ограждающих конструкций был использован кирпич (глиняный) обыкновенный толщиной 6,5 см утеплённый пенополистирольными плитами толщиной 5 см. Состав покрытия (снизу вверх): железобетонная плита толщиной 5 см, пароизоляция, пенополистирольные плиты толщиной 5 см, цементно-песчаная стяжка толщиной 1 см, воздушная вентилируемая прослойка толщиной 40 см (в предлагаемом варианте делится пленкой на слои толщиной 30 см и 10 см), железобетонная плита толщиной 3 см, рубероидный ковер толщиной 0,3 см в эталонном варианте и битумно-полимерный кровельный материал “Poliizol” толщиной 0,3 см в предлагаемом варианте. При проведении экспериментов макеты были ориентированы таким образом, чтобы потоки воздуха со скоростью от 1-4 м/с, создаваемые вентиляторами на каждом из макетов, были направлены в сквозные подкровельные отверстия. Скорость воздушного потока, создаваемая вентилятором, регулировалась изменением расстояния от макета до вентилятора, а контроль над ее значением осуществлялся анемометром (рис.2.2). На определяющих поверхностях элементов покрытия были установлены температурные датчики (рис.2.5). Температура измерялась внутри вентилируемого подкровельного пространства, на расстоянии 20 см от нижней поверхности плиты перекрытия (условно температура воздуха внутри помещения) и снаружи. Во время проведения эксперимента одновременно снимались показания со всех датчиков и заносились в дневник наблюдений. Для обеспечения нагрева помещения в зимнее время использовались электрообогреватели типа “фен”, которые поддерживали заданную температуру в помещении.

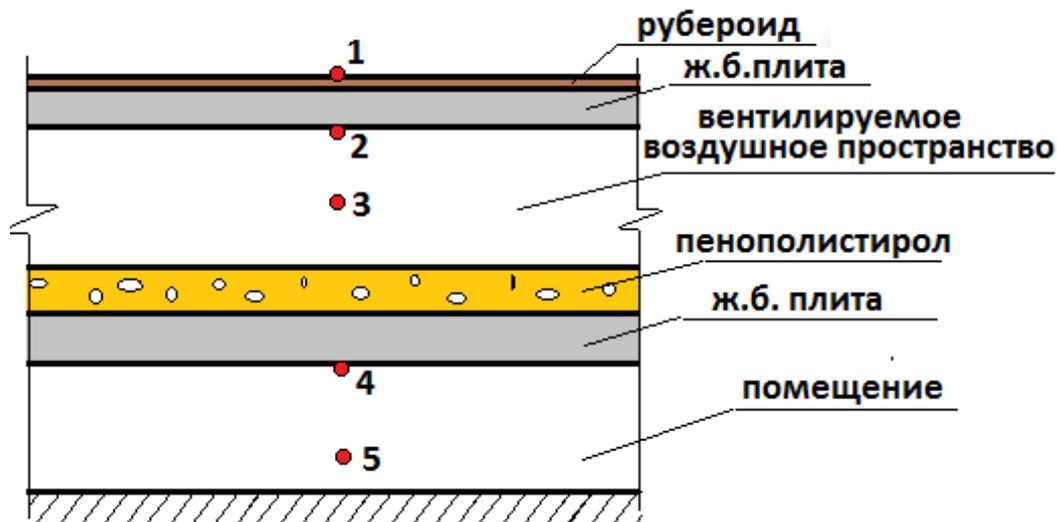


Рис. 2.5. Точки установки термометров и термодатчиков (на примере эталонного макета) для измерения температуры: 1 – кровли; 2 – нижней поверхности кровельной панели; 3 – воздуха вентилируемого пространства; 4 – нижней поверхности панели перекрытия; 5 – воздуха помещения

Для проведения исследований был применен метод математического планирования эксперимента. В качестве трёх изменяемых факторов приняты:

- скорость ветра (1-4 м/с)
- часы измерения в летнее время (10-00; 14-00; 16-00; 20-00) и (08-00; 14-00; 18-00; 22-00) в зимнее время
- температура наружного воздуха

Методика планирования эксперимента представлена в следующем разделе данной главы.

Результаты экспериментальных исследований обработаны методами математической статистики. Были определены числовые характеристики случайной величины, оценки математического ожидания, оценки дисперсии, среднее квадратичное отклонение, коэффициент вариации и показатель точности [3].

Оценка для математического ожидания случайной величины определяется по формуле:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2.1)$$

где  $x_i$  – температура на внутренней поверхности покрытия при  $i$ -ом замере,  $n$  – количество замеров.

Оценка дисперсии случайной величины:

$$D_x = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1} \quad (2.2)$$

Среднее квадратичное отклонение, называемое также среднеквадратичной ошибкой, является производной от дисперсии и определяется по формуле:

$$\delta_x = \sqrt{D_x} \quad (2.3)$$

Выражая среднеквадратичное отклонение в % от величины математического ожидания, получим коэффициент вариации:

$$C_v = \frac{\delta_x}{\bar{X}} \cdot 100\% \quad (2.4)$$

Среднее квадратичное отклонение оценки математического ожидания:

$$\delta = \sqrt{\frac{D_x}{n}} \quad (2.5)$$

Показатель точности испытаний:

$$P = \frac{\delta}{\bar{X}} \cdot 100\% \quad (2.6)$$

### 2.2.2. Математическое планирование эксперимента

Главным условием оптимального проектирования является создание необходимых количественных зависимостей, позволяющих прогнозировать необходимые результаты для конечного итога. Критерии оптимизации при использовании активного планирования эксперимента могут быть различными. В нашем случае наиболее предпочтительны теплотехнические параметры из-за возможности осуществления эффективного контроля. Планирование эксперимента производилось в соответствии с [14, 15].

Выбор факторов, определяющих изменение оптимизируемых параметров, осуществляется на основании конкретной задачи. В этом случае необходимо перейти к планированию эксперимента второго порядка,

описываемого в общем случае полиномом второй степени:

$$y(x) = \epsilon_0 + \sum_{1 \leq i \leq n} \epsilon_i x_i + \sum_{1 \leq i \leq j \leq n} \epsilon_{ij} x_i x_j \quad (2.7)$$

где  $\epsilon_0, \epsilon_i, \epsilon_{ij}$  – статистические оценки истинных коэффициентов регрессии.

В нашем случае (3-х факторный эксперимент):

$$y = \epsilon_0 + \epsilon_1 x_1 + \epsilon_2 x_2 + \epsilon_3 x_3 + \epsilon_{11} x_1^2 + \epsilon_{22} x_2^2 + \epsilon_{33} x_3^2 + \epsilon_{12} x_1 x_2 + \epsilon_{13} x_1 x_3 + \epsilon_{23} x_2 x_3 \quad (2.8)$$

Для постановки эксперимента был применен близкий к Д – оптимальный план второго порядка  $V_3$ , требующий сравнительно небольшого количества опытов при удовлетворительных статистических характеристиках [15]. Матрица плана приведена в табл. 2.2.

Вычисление коэффициентов уравнения регрессии произведено по формуле:

$$\epsilon_i = \sum_{1 \leq u \leq l} l_{ui} y_u \quad (2.9)$$

где  $l_{ui}$  – элемент матрицы L, соответствующий  $u$  - ому опыту и  $i$  - ому фактору, его квадрату или взаимодействию факторов. Значения  $l_{ui}$  представлены в табл. 2.3.  $y_u$  – значения выхода в  $u$  – ом опыте (экспериментальные данные).

Матрица 3-факторного плана 2-го порядка

№ опыта	Матрица планирования( $x_i$ )			Квадраты переменных ( $x_i$ ) <sup>2</sup>			Взаимодействие ( $x_i x_j$ )			
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_1^2$	$X_2^2$	$X_3^2$	$X_1 x_2$	$X_1 x_3$	$X_2 x_3$	
N <sub>1</sub>	1	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	2	-	+	+	+	+	+	-	-	+
	3	+	-	+	+	+	+	-	+	-
	4	-	-	+	+	+	+	+	-	-
	5	+	+	-	+	+	+	+	-	-
	6	-	+	-	+	+	+	-	+	-
	7	+	-	-	+	+	+	-	-	+
	8	-	-	-	+	+	+	+	+	+
N <sub>2</sub>	9	+	0	0	+	0	0	0	0	0
	10	-	0	0	+	0	0	0	0	0
	11	0	+	0	0	+	0	0	0	0
	12	0	-	0	0	+	0	0	0	0
	13	0	0	+	0	0	+	0	0	0
	14	0	0	-	0	0	+	0	0	0
h <sub>0</sub>	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Проверка равнозначности измерений (однородности выборочных дисперсий) проведена по критерию Кохрена, для этого составляется G - статистика согласно рекомендациям [14, 15].

$$G_p = \frac{\max_{1 \leq u \leq N_i} \{S_{yu}^2\}}{\sum_{1 \leq u \leq N_i} S_{yu}^2} \quad (2.10)$$

Для каждого параметра  $G_p < G_T$ , следовательно, при выбранном уровне значимости гипотеза об однородности оценок дисперсий не отвергается.

Таблица 2.3

Матрица L для вычисления коэффициентов регрессии по плану В<sub>3</sub>

№ пп	Матрица									
	0	1	2	3	11	12	13	22	23	33
1	-0,063	0,100	0,100	0,100	0,063	0,125	0,125	0,063	0,125	0,063
2	-0,063	0,100	0,100	0,100	0,063	0,125	0,125	0,063	0,125	0,063
3	-0,063	0,100	0,100	0,100	0,063	0,125	0,125	0,063	0,125	0,063
4	-0,063	0,100	0,100	0,100	0,063	0,125	0,125	0,063	0,125	0,063
5	-0,063	0,100	0,100	0,100	0,063	0,125	0,125	0,063	0,125	0,063
6	-0,063	0,100	0,100	0,100	0,063	0,125	0,125	0,063	0,125	0,063
7	-0,063	0,100	0,100	0,100	0,063	0,125	0,125	0,063	0,125	0,063
8	-0,063	0,100	0,100	0,100	0,063	0,125	0,125	0,063	0,125	0,063
9	0,250	-0,100	0	0	0,250	0	0	-0,250	0	-0,250
10	0,250	0,100	0	0	0,250	0	0	-0,250	0	-0,250
11	0,250	0	0,100	0	-0,250	0	0	0,250	0	-0,250
12	0,250	0	0,100	0	-0,250	0	0	0,250	0	-0,250
13	0,250	0	0	0,100	-0,250	0	0	-0,250	0	0,250
14	0,250	0	0	0,100	-0,250	0	0	-0,250	0	0,250

После вычисление параметров модели и получения уравнения регрессии проверяется гипотеза об их адекватности по дисперсионному отношению Фишера:

$$F_p = \frac{S_{ад}^2}{S_{воспр}^2}, \quad (2.11)$$

где:

$$S_{ад}^2 = \frac{K \sum_{1 \leq u \leq n} (y_{иср} - y_{up})^2}{N * K - m - N(K-1)} S_{воспр}^2 = \frac{\sum_{1 \leq u \leq n} S_{yu}^2}{N}$$

K-число повторных измерений в каждой точке плана,

m - число коэффициентов в уравнении регрессии.

При  $F_p < F_{табл}$  гипотеза об адекватности полученного уравнения не отвергается.

Проверка коэффициентов регрессии на значимость произведена по t - критерию Стьюдента [14, 15]:

$$t_{ei} = \frac{|e_i|}{S_{ei}} \quad (2.12)$$

по группам коэффициентов, начиная с самого малого по абсолютной величине.

### 2.2.3. Методика теплотехнических расчетов

В диссертационной работе, помимо экспериментальных методов исследований, использовались и теоретические расчетные для определения сопротивления теплопередаче и теплоустойчивости ограждающих конструкций. Расчеты велись на основе действующих нормативных документов [10, 11].

Требуемое сопротивление теплопередаче  $R_o^{TP}$  наружной ограждающей конструкции, исходя из санитарно-гигиенических требований, определялось по формуле

$$R_o^{TP} = n(t_B - t_H) / (\Delta t^H \alpha_B), \quad (2.13)$$

где n – коэффициент, определяемый в зависимости от положения наружной поверхности ограждающих конструкций по отношению к наружному воздуху;

$t_B$  – расчетная температура внутреннего воздуха, °С, определяемая в зависимости от назначения здания;

$t_n$  – расчетная зимняя температура наружного воздуха, принимаемая в зависимости от района строительства и тепловой инерции ограждающей конструкции,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\Delta t^H$  – нормативный температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимаемый в зависимости от местоположения ограждения и назначения здания,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$\alpha_{в}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающих конструкций,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ .

Тепловая инерция  $D$  ограждения определялась по формуле

$$D = R_1 S_1 + R_2 S_2 + \dots + R_n S_n, \quad (2.14)$$

где  $R_1, R_2, \dots, R_n$  – термические сопротивления отдельных слоев ограждения,  $(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$ ;

$S_1, S_2, \dots, S_n$  – расчетные коэффициенты теплоусвоения материала отдельных слоев ограждения,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ .

Термическое сопротивление  $R$ , слоя многослойной ограждающей конструкции определяли по формуле

$$R = \delta / \lambda, \quad (2.15)$$

где  $\delta$  – толщина слоя, м;

$\lambda$  – расчетный коэффициент теплопроводности материала слоя,  $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^{\circ}\text{C})$ ;

Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции  $R_0$ , определяли по формуле

$$R_0 = 1/\alpha_{в} + \sum(\delta_i / \lambda_i) + 1/\alpha_{н}, \quad (2.16)$$

где  $\alpha_{н}$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$ .

Требуемое сопротивление теплопередаче по условиям энергосбережения определялось в зависимости от градусо-суток отопительного периода (ГСОП) по следующей зависимости:

$$R_0 = 1/S_a^{1/2}, \quad \text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}, \quad (2.17)$$

где  $S_a$  – безразмерный критерий, имеющий глубокий теплофизический и экономический смысл. Он показывает, насколько теплотери  $1 \text{ м}^2$  ограждающей конструкции, сопротивление теплопередаче которой  $R_{0}^*$ , больше или меньше тепловой энергии, затраченной на ее создание и монтаж за срок службы ограждения.

$$S_a = Q_k^* \cdot R_{0}^* / (24 \cdot \text{ГОСП} \cdot Z), \quad (2.18)$$

где  $Q_k^*$  – энергоемкость,  $\text{Вт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$  элемента наружного ограждения, сопротивление теплопередаче которого  $R_{0}^* = 1 \text{ м}^2 \cdot \text{C} / \text{Вт}$ ;

ГОСП определялись по формуле:

$$\text{ГОСП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{от.пер}}) Z_{\text{от.пер}}, \quad (2.19)$$

где  $t_{\text{в}}$  – температура внутреннего воздуха,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$t_{\text{от.пер}}$  – температура отопительного периода, определяемая по КМК [10];

$Z_{\text{от.пер}}$  – продолжительность отопительного периода, определяемая по КМК [10];

$Z$  – безразмерная величина, численно равная сроку службы ограждения.

Расчет требуемого сопротивления теплопередаче по условиям энергосбережения выполнялся с использованием расчетной программы для персонального компьютера.

Для расчета на теплоустойчивость определялась:

-требуемая амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности ограждающей конструкции  $A_{\text{тв}}^{\text{тп}}$ :

$$A_{\text{тв}}^{\text{тп}} = 2.5 - 0.1 \cdot (\bar{t}_n - 21), \quad (2.20)$$

где  $\bar{t}_n$  – среднемесячная температура наружного воздуха за июль,  $^{\circ}\text{C}$ ;

- величина затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха  $\nu$  в ограждающей конструкции. Для ограждения, состоящего из однородных слоев,  $\nu$  определялась по формуле:

$$\nu = 0.9 \cdot e^{D/\sqrt{2}} = \frac{(s_1 + a_{\hat{a}})(s_2 + Y_1) \cdots (S_n + Y_{n-1})(a_i + Y_n)}{(s_1 + Y_1)(s_2 + Y_2) \cdots (S_n + Y_n) a_i}, \quad (2.21)$$

где  $D = R_1 s_1 + R_2 s_2 + \dots + R_i s_i$  – тепловая инерция;

$R_i$  – термическое сопротивление  $i$ -го слоя,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$ ,

$s_i$  – коэффициент теплоусвоения материала  $i$ -го слоя,  $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ ;

$a_{в}$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции,  $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ ;

$a_{н}$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции по летним условиям,  $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ ;

$Y_i$  – коэффициент теплоусвоения наружной поверхности  $i$ -го слоя,  $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ .

- расчетная амплитуда колебаний температуры наружного воздуха в июле  $A_{тн}^{расч}$ :

$$A_{тн}^{расч} = 0.5 A_{тн} + \frac{\rho(I_{\max} - \bar{I})}{a_{н}}, \quad (2.22)$$

где  $A_{тн}$  – максимальная амплитуда суточных колебаний наружного воздуха в июле,  $\text{°C}$ ;

$I_{\max}$  – максимальное значение суммарной прямой солнечной радиации (западная ориентации вертикальной стены),  $\text{Вт} / \text{м}^2$ ;

$\bar{I}$  – среднее значение рассеянной солнечной радиации,  $\text{Вт} / \text{м}^2$ ;

$a_{н}$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции по летним условиям,  $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ .

- амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности ограждения  $A_{тв}$ ,  $\text{°C}$ :

$$A_{тв} = \frac{A_{тн}^{расч}}{\nu}, \quad (2.23)$$

Если  $A_{тв} \leq A_{тв}^{тп}$ , то ограждающая конструкция удовлетворяет требованиям норм по теплоустойчивости.

Расчет на теплоустойчивость выполнялся с применением программного комплекса «BASE» (версия 7.3).

### **3. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ЧЕРДАЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ЭНЕРГОЭКОНОМИЧНЫХ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ ДЛЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ Г.ТАШКЕНТА**

#### **3.1. Теоретическое исследование процесса формирования температуры воздуха в чердачном пространстве крыши**

Как было установлено в главе 1 настоящей диссертационной работы, микроклимат помещений гражданских зданий, расположенных на их верхних этажах, во многом определяется температурным режимом чердачного помещения. Чтобы выявить возможные экономически целесообразные пути создания благоприятных температурно-влажностных условий чердачных помещений гражданских зданий для холодного и жаркого периодов года, необходимо исследовать физические процессы, протекающие в подкровельном пространстве объектов массового строительства. Изучив и описав их, предполагается, используя физические законы формирования температурного режима чердачных помещений, найти способ оптимизации его, основанный на использовании естественных условий окружающей среды путем совершенствования конструкции чердака.

Наиболее простыми методами обеспечения благоприятного температурного режима в летнее время представляются поддержание температуры чердачного помещения на заданном уровне путем использования естественного ветрового потока, а также метод, основанный на регулировании потока падающей на здание радиации.

Изменять естественный ветровой поток в чердачном помещении возможно за счет создания подкровельного продуха с изменяющейся геометрией. Это было доказано в работах Щипачевой Е.В. и Рахимовой Н.Б. [34, 35]. Оптимизация температурного режима чердачного пространства была сведена к регулированию теплопередачи через кровлю как конструкции, через которую происходят наибольшие тепlopоступления [36].

Как известно, температурный режим внутричердачного пространства определяется теплотехническими характеристиками ограждающих

конструкций, температурой окружающей среды и обменом количеством теплоты между чердачным помещением и самим зданием. Применяя законы сохранения энергии и Ньютона-Рихмана, характеризующем тепловой поток через вещество [37] Щипачевой Е.В. и Рахимовой Н.Б. была выведена зависимость температуры внутри чердачного помещения  $T_{\text{ч}}$  от наружной температуры воздуха [35].

$$T_{\text{ч}} = \frac{C_1 T_c + T_{\text{квр}} C_2}{C_1 + C_2}, \quad (3.1)$$

где

$$C_1 = \sum_{k=1}^n \frac{S_k^-}{R_{\sigma k}}, \quad C_2 = \sum_{i=1}^n \frac{S_i^+}{R_{\sigma i}},$$

$T_c$  – температура наружного воздуха;  $T_{\text{квр}}$  – температура воздуха в комнатах на верхнем этаже здания;  $S_k^-$  – площадь,  $\text{м}^2$ ,  $k$ -го участка наружных ограждающих конструкций чердачного помещения;  $S_i^+$  – площадь  $i$ -го участка ограждения между теплыми помещениями и помещениями чердака;  $R_{\sigma k}$ ,  $R_{\sigma i}$  – соответствующие приведенные сопротивления.

Учитывая, что температура в продухе зависит не только от температуры чердачного пространства и температуры наружного воздуха, но и от скорости движения воздуха (ветра) в продухе, была получена зависимость средней температуры в продухе  $\bar{T}$  от силы ветра [38].

Уравнение теплового баланса для некоторого участка продуха было записано в виде:

$$Q = A \cdot V_{\text{п}} \cdot (T'' - T_{\text{ext}}), \quad (3.2)$$

где:  $A = \rho \cdot c_p \cdot h_{\text{п}} \cdot l$ ;  $l$  – длина продуха (равна длине здания);  $h_{\text{п}}$  – ширина продуха;  $\rho$  – плотность воздуха,  $c_p$  – удельная теплоемкость воздуха;  $V_{\text{п}}$  – скорость ветра в продухе;  $T''$  – температура воздуха в продухе у выхода (по направлению ветрового потока);  $T_{\text{ext}}$  – температура наружного воздуха, так как с достаточной степенью точности принято, что ей равно температура в продухе на входе.

В (3.2) скорость ветра в продухе  $V_{\text{п}}$  связана со скоростью ветра

наружного воздуха  $V_c$  законом Бернулли [39]:

$$V_{\pi} = V_c \cdot \frac{w^2}{2ah_{\pi}} \quad (3.3)$$

где:  $w$  – ширина щели продуха;  $a$  – ширина продуха (равна ширине здания).

С учетом (3.2) уравнение массового расхода воздуха в продухе было записано в виде:

$$A \cdot V_{\pi} \Delta T = \alpha_h \cdot (l \cdot a) \cdot (T_{\text{int}} - \bar{T}) - \alpha_c \cdot [l \cdot (2h_{\pi} + a)] \cdot (\bar{T} - T_{\text{ext}}), \quad (3.4)$$

где:  $\Delta T$  – перепад температур по длине продуха;  $\alpha_h$ ,  $\alpha_c$  – коэффициенты теплопередачи от теплого и холодного воздуха соответственно,  $T_{\text{int}}$  – температура воздуха внутри чердачного пространства;  $T_{\text{ext}}$  – температура наружного воздуха;  $\bar{T} = (T'' + T') / 2$  – средняя температура воздуха в продухе,  $T' \cong T_{\text{ext}}$ .

Для оценки соотношения коэффициентов теплопередачи от теплого и холодного воздуха, были отдельно рассмотрены процессы, в которых теплообмен происходит только с нагретой или только с холодной поверхностями [38].

1. *Охлаждающая составляющая теплообмена.* Выражение (3.4) с учетом только охлаждающей составляющей было записано в следующем виде:

$$A \cdot V_{\pi} \cdot (T'' - T_{\text{ext}}) = \alpha_c \cdot [l \cdot (2h_{\pi} + a)] \cdot (\bar{T} - T_{\text{ext}})$$

и, раскрывая  $A$ , получено

$$V_{\pi} \cdot \rho \cdot c_p \cdot h_{\pi} = \alpha_c \cdot (2 \cdot h_{\pi} + a) \quad (3.5)$$

откуда

$$\alpha_c = \frac{2 \cdot V_{\pi} \cdot \rho \cdot c_p \cdot h_{\pi}}{2 \cdot h_{\pi} + a}. \quad (3.6)$$

2. *Нагревающая составляющая теплообмена.* Аналогично было получено выражение применительно к нагревающей составляющей:

$$A \cdot V_{\pi} \cdot (T'' - T_c) = \alpha_h \cdot [l \cdot (2h_{\pi} + a)] \cdot (T_{\text{int}} - \bar{T}),$$

$$2 \cdot V_{\pi} \cdot \rho \cdot c_p \cdot h_{\pi} = \alpha_h \cdot a$$

и

$$\alpha_h = \frac{2 \cdot V_{\pi} \cdot \rho \cdot c_p \cdot h_{\pi}}{a} \quad (3.7)$$

На бесконечно малом приращении температуры, т.е. при  $\Delta T \rightarrow 0$  выражение (3.4) массового расхода воздуха в продухе при предельном переходе было представлено уравнением:

$$\alpha_h \cdot (l \cdot a) \cdot (T_{int} - \bar{T}) - \alpha_c \cdot [l \cdot (2h_{\pi} + a)] \cdot (\bar{T} - T_{ext}) = 0$$

или

$$\alpha_h \cdot a \cdot (T_{int} - \bar{T}) = \alpha_c \cdot (2h_{int} + a) \cdot (\bar{T} - T_{ext}) = 0 \quad (3.8)$$

Из (3.8) была определена искомая величина  $\bar{T} \equiv T$ :

$$T = \frac{\alpha_h \cdot a \cdot T_{int} + \alpha_c (2 \cdot h_{\pi} + a) \cdot T_{ext}}{\alpha_h \cdot a + \alpha_c (2 \cdot h_{\pi} + a)} \quad (3.9)$$

Выполнив количественную оценку выражения (3.9) для диапазона наружной температуры от  $-40$  до  $+40^{\circ}\text{C}$  с использованием конструкции стационарного продуха с параметрами  $w=0,15$  м,  $h_{\pi}=0,3$  м и принятой средней скорости наружного воздуха  $V_c = 5\text{ м/с}$  и проанализировав полученные результаты, исследователи пришли к следующим выводам [38]:

- в холодный и жаркий периоды года использование конструкции продуха значительно понижает температуру чердачного помещения;
- в холодный период, для полной изоляции кровли от воздействия теплого воздуха (для снижения риска обледенения кровли) необходимо, чтобы конструкция продуха меняла свою геометрию (площадь сечения продуха) в зависимости от скорости наружного воздуха, т.е. продух должен быть нестационарным;
- в жаркий период времени продух должен быть стационарным, так как увеличение площади его сечения создаст накопление горячего воздуха и тем самым увеличит температуру воздуха внутри продуха.

Физический метод оптимизации температурного режима чердачного пространства может быть основан на регуляризации теплотерь с

поверхности ограждения (кровли) путем варьирования ее излучательной способностью. Эти теоретические исследования были проведены совместно с д.т.н., проф. Щипачевой Е.В. и с.н.с. Рахимовой Н.Б.

Поток тепла  $q_n$ , проходящий через поверхность, является результирующей величиной, складывающейся из интенсивности, падающей на поверхность суммарной солнечной радиации  $R = S + D, \text{Вт/м}^2$ , радиационной температуры наружной среды  $t_{RH}$  – результирующая конвективного и лучистого излучения, температуры наружной поверхности  $t$ , температуры наружного воздуха  $t_n$ . Тогда уравнение теплового баланса примет вид:

$$q_n = pR + \alpha' (t_{RH} - t) + \alpha'' (t_n - t), \quad (3.10)$$

где  $p$  – коэффициент поглощения солнечной радиации поверхностью,  $\alpha'$ ,  $\alpha''$  – коэффициенты лучистого и конвективного теплообмена, соответственно.

Таким образом, было установлено, что тепловой поток  $q \equiv q_n$  с наружного ограждения представляет собой сумму конвективной  $q_k$  составляющей, являющейся результатом локальной передачи тепла с поверхности ограждения с температурой  $T_c$  наружному воздуху при температуре  $T_{нв}$

$$q_k = a'' (T_c - T_{нв}) \quad (3.11)$$

и радиационной составляющей  $q_r$ , являющейся результатом дистанционной передачи тепла с поверхности кровли окружающим объектам

$$q_r = \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_c^4 - T_{rz}^4), \quad (3.12)$$

где  $T_{rz} \equiv t_{RH} + 273,15$  – эффективная радиационная температура окружающего пространства,  $\varepsilon$  – полусферическая излучательная способность поверхности ограждения.

В результате выражение плотности потока тепловых потерь с поверхности наружного ограждения было получено в виде [34]:

$$q = q_k + q_r = a'' (T_c - T_{нв}) + \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_c^4 - T_{rz}^4) \quad (3.13)$$

Примем, что  $\varepsilon_0$  – начальная излучательная способность поверхности кровли с температурой  $T_c$ . Тогда плотность потока  $q_0$  тепловых потерь

согласно (3.13) выразится:

$$q_0 = \alpha'' (T_c - T_{нв}) + \varepsilon_0 \cdot \sigma \cdot (T_c^4 - T_{гз}^4) \quad (3.14)$$

Далее положим, что излучательная способность поверхности стала  $\varepsilon_r$  (например, после нанесения на поверхность кровли покрытия с излучательной способностью  $\varepsilon_r$ ). При прочих равных условиях плотность теплового потока с поверхности ограждения станет

$$q_r = \alpha'' (T_c - T_{нв}) + \varepsilon_r \cdot \sigma \cdot (T_c^4 - T_{гз}^4). \quad (3.15)$$

Относительная величина энергосберегающего эффекта определится соотношением

$$\Delta q = \frac{q_0 - q_r}{q_0} \quad (3.16)$$

или с учетом (3.14) и (3.15) – формулой:

$$\Delta q = \frac{\varepsilon_0 - \varepsilon_r}{\varepsilon_0 + \frac{\alpha''(T_c - T_{нв})}{\sigma(T_c^4 - T_{гз}^4)}} \quad (3.17)$$

Согласно [40] коэффициент теплообмена  $\alpha''$  при турбулентном режиме свободной конвекции может быть представлен выражением

$$\alpha'' \cong \gamma \cdot (T_c - T_{нв}), \quad (3.18)$$

где  $\gamma$  - коэффициент, учитывающий температурный режим.

Очевидно, что изменение излучательной способности кровли приводит к изменению структуры и величины тепловых потерь с поверхности ограждения и изменению сопротивления теплопередаче  $R$ . Обозначим:  $R_T^0$  – сопротивление теплопередаче при  $\varepsilon_0$ ,  $R_T^r$  – сопротивление теплопередаче при  $\varepsilon_r$ ,  $T_в$  – внутренняя температура чердачного пространства. Тогда, согласно определению сопротивления, теплопередаче [40], имеем:

$$R_T^0 = \frac{T_в - T_c}{q_0} \quad (3.20)$$

и

$$R_T^r = \frac{T_в - T_c}{q_r} \quad (3.21)$$

Из (3.20) и (3.21) с учетом (3.17) получаем, что

$$R_T^r = \frac{R_T^0 q_0}{q_r} = \frac{R_T^0}{1 - \Delta q}. \quad (3.22)$$

С учетом нанесенного покрытия, т.е. добавления некоторого слоя  $\delta_r$  с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_s$ , начальное сопротивление теплопередаче конструкции покрытия должно быть увеличено на собственное термическое сопротивление  $R_s = \frac{\delta_r}{\lambda_s}$ . Окончательно получим:

$$R_T^r = \frac{R_T^0 q_0}{q_r} = \frac{R_T^0 + R_s}{1 - \Delta q} \quad (3.23)$$

Выражение (3.23) можно рассматривать как некоторый функционал, экстремум которого приводит к оптимальным теплофизическим характеристикам ограждающей конструкции, обеспечивающим требуемый температурный режим чердачного помещения.

Для количественной оценки полученного теоретического решения произведем практический расчет при помощи компьютерной программы, разработанной Рахимовой Н.Б. Изначально зададимся требуемой величиной внутренней температуры чердачного пространства, обеспечивающей, при прочих равных условиях, комфортную температуру верхнего этажа и определим  $R_T^r$ , как функцию наружной температуры воздуха. На рис. 3.1 приведены результаты расчета сопротивления теплопередаче покрытия с кровельным ковром из исходного материала с начальной излучательной способностью  $\varepsilon_0 = 0,92$  и покрытия при нанесении на кровельный ковер слоя толщиной  $\delta_r = 0,3$  мм с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_s = 0,15$  Вт/м·К и излучательной способностью  $\varepsilon_r = 0,33$ . Коэффициент  $\gamma$  в формуле (3.18) аппроксимировался для диапазона наружной температуры  $-30^\circ\text{C} \leq t_{\text{нв}} \leq +50^\circ\text{C}$  выражением  $\gamma = 10,336 - 0,0092 \cdot t_{\text{нв}}$ . Величина внутренней температуры  $T_v$  чердачного помещения считалась постоянной для всего рассматриваемого диапазона температур наружного воздуха и была взята равной  $t_v = 24^\circ\text{C}$ . Очевидно, что это идеализированный случай, когда температура внутреннего чердачного помещения остается как бы постоянной на протяжении всего климатического года. Но эта идеализация позволяет наглядно увидеть

возможность путем варьирования излучательной способностью наружной поверхности ограждающей конструкции поддерживать температуру чердачного помещения, обеспечивающую комфортные условия комнат верхних этажей здания.

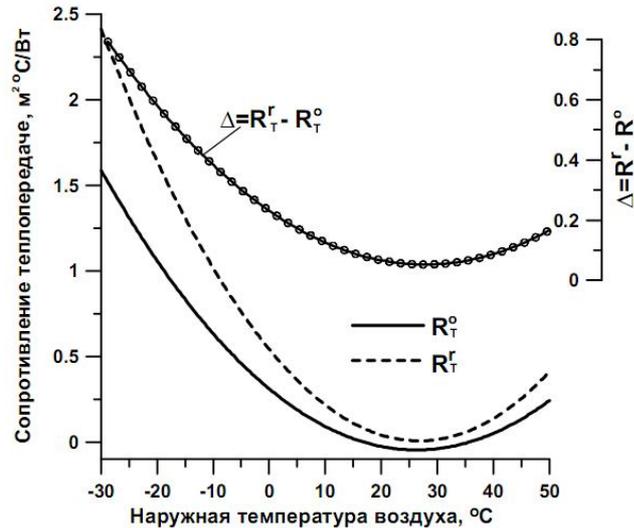


Рис. 3.1. Сопротивление теплопередаче  $R_T^o$  покрытия с кровельным ковром из исходного материала с излучательной способностью  $\epsilon_0$  и сопротивление теплопередаче покрытия  $R_T^r$  при нанесении на кровельный ковер слоя с излучательной способностью  $\epsilon_r$  ( $\epsilon_r < \epsilon_0$ ), как функции температуры наружного воздуха и их разность  $\Delta$ .

Как видно из (рис. 3.1) нанесение на поверхность кровли слоя с низкой излучательной способностью, при прочих равных факторах, значительно повышает сопротивление теплопередаче покрытия во всем рассматриваемом диапазоне наружных температур воздуха. Очевидно, что разность сопротивления теплопередаче исходного материала с отражательной способностью  $\epsilon_0$  и того же материала с покрытием  $\epsilon_r$  ( $\epsilon_r < \epsilon_0$ ) зависит от величины напора теплового потока, который характеризуется градиентом температуры наружного и внутреннего воздуха, что собственно и отражено на (рис. 3.1)

Распределения сопротивления теплопередаче поверхности с излучательной способностью  $\epsilon_0$  и той же поверхности, покрытой некоторым

слоем с излучательной способностью  $\epsilon_r$ , представленные на (рис.3.1), как функции температуры наружного воздуха, рассчитаны при фиксированной температуре внутреннего воздуха для всего заданного диапазона температур наружного воздуха. Это позволило получить картину реакции сопротивления теплопередаче на градиенты температуры наружного и внутреннего воздуха для различных  $\epsilon$ . Для выяснения реального распределения внутренней температуры чердачного помещения, как функции наружной температуры воздуха при изменении сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции согласно (3.23), представим внутреннюю температуру воздуха  $t_b$  из соотношения [41]

$$q = a_{\Sigma} \left[ \frac{\alpha' t_b + \alpha t_{окр}}{a_{\Sigma}} - t_c \right], \quad (3.24)$$

где  $t_{окр}$  – температура окружающих поверхностей,  $t_c = T_c - 273,15$ . Без ограничения общности примем приближение  $t_b \approx t_{окр}$ , не имеющее решающего значения в рассматриваемых рамках нашей задачи. Тогда,  $t_b$  из (3.24) определится соотношением

$$t_b = a_{\Sigma} \left[ \frac{q + t_c}{\alpha'(1 + \alpha')} \right]. \quad (3.25)$$

На рис. 3.2 приведены распределения внутренней температуры чердачного помещения, как функции наружного воздуха для  $q=q_0$  ( $\epsilon_0$ ) и  $q=q_r$  ( $\epsilon_r$ ).

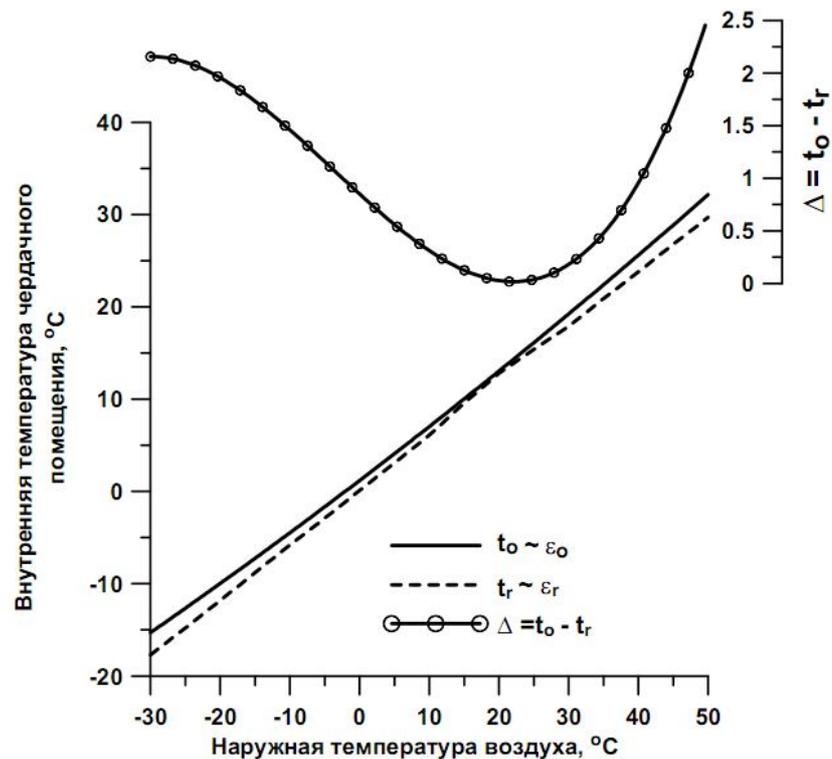


Рис. 3.2. Распределение внутренней температуры чердачного помещения, как функции температуры наружного воздуха при различной излучательной способности кровельного ковра ( $\epsilon_o > \epsilon_r$ ).

Как видно из приведенных на (рис.3.2) распределений, снижение излучательной способности ограждающих конструкций при температурах наружного воздуха  $t_{нв} > 35^\circ\text{C}$  позволяет существенно понизить внутреннюю температуру чердачного помещения.

Таким образом, используя покрытия для поверхности кровли с низкой излучательной способностью можно улучшить микроклимат помещений и тем самым снизить потребление энергии системами кондиционирования воздуха.

### 3.2. Экспериментально-модельное исследование температурного режима чердачного помещения в летних и зимних условиях эксплуатации

При проведении натуральных модельных экспериментов ветровой поток в

проветриваемых пространствах макетов создавался при помощи вентилятора, устанавливаемого на фиксированных расстояниях от макетов для обеспечения скорости ветра 1 м/с; 3 м/с; 4 м/с. На определяющих поверхностях элементов покрытия были закреплены температурные датчики (рис.2.5), а также температура измерялась внутри вентилируемого подкровельного пространства на расстоянии 20 см от нижней поверхности плиты перекрытия (условно температура воздуха внутри помещения) и снаружи.

Полученные результаты измерений температур поверхностей ограждения в зависимости от скорости ветров летний период представлены в табл. 3.1-3.5, в зимний период представлены в табл. 3.6-3.8. Они были обработаны методами математической статистики и преобразованы в графики для летнего периода (рис. 3.3 - 3.7), и для зимнего периода (рис. 3.9 - 3.10).

Температура измерялась электронными температурными датчиками фирмы “Elitech” с погрешностью измерения в 1 °С для обоих макетов на следующих поверхностях:

- наружной поверхности кровельного ковра (t.внешн.покр.кр )
- внутренней поверхности кровли (t.внутр.покр.кр)
- потолка помещения верхнего этажа (t.внутр.покр.пом)

Кроме того при помощи термометров измерялась температура внутри условно чердачного пространства на высоте 20 см от уровня перекрытия (t.чердака ) и температуры условно внутри помещения верхнего этажа на уровне 20 см от уровня перекрытия (t.помещения )

Время замеров температуры производилось в летний период одновременно на обоих макетах в 10<sup>00</sup>; 14<sup>00</sup>; 16<sup>00</sup>; 20<sup>00</sup>, а в зимний период в 08<sup>00</sup>; 14<sup>00</sup>; 18<sup>00</sup>; 22<sup>00</sup>.

Дата: 17.08.2015 г.

Таблица 3.1

Образцы	Эталонный вариант				Энергоэффективный вариант			
	10 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup>	16 <sup>00</sup>	20 <sup>00</sup>	10 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup>	16 <sup>00</sup>	20 <sup>00</sup>
Время								
Скорость м/с	Скорость ветра v= 0 м/с				Скорость ветра v= 0 м/с			
t.нар.воздуха°С	34,0	37,0	37,0	26,0	34,0	37,0	38,0	26,0
t.внешн.покр.кр°С	34,2	37,3	37,3	27,6	34,0	35,5	47,0	29,6
t.внутр.покр.кр°С	30,6	33,0	33,0	30,3	31,2	34,2	43,4	31,4
t.чердака°С	30,0	30,0	30,0	27,5	29,0	29,0	34,0	27,0
t.внутр.покр.пом°С	27,2	25,7	25,7	27,9	27,6	25,6	27,1	27,9
t.помещения°С	26,4	25,7	25,7	26,8	26,2	25,5	26,6	26,4
Скорость м/с	Скорость ветра v= 1 м/с				Скорость ветра v= 1 м/с			
t.нар.воздуха°С	35,0	37,5	37,5	26,0	35,0	37,5	38,5	26,0
t.внешн.покр.кр°С	35,7	43,4	43,4	27,2	34,6	35,3	44,2	27,8
t.внутр.покр.кр°С	33,1	33,6	33,6	28,6	33,2	33,2	39,8	27,7
t.чердака°С	32,0	31,5	31,5	26,4	32,0	31,5	36,5	26,0
t.внутр.покр.пом°С	27,6	27,6	27,6	28,6	27,5	27,4	27,9	28,7
t.помещения°С	26,4	26,3	26,3	27,4	26,1	26,3	26,6	27,3
Скорость м/с	Скорость ветра v= 3 м/с				Скорость ветра v= 3 м/с			
t.нар.воздуха°С	35,0	38,0	38,0	26,0	35,0	38,0	38,5	26,0
t.внешн.покр.кр°С	36,4	57,6	57,6	26,5	34,8	35,2	39,5	27,2
t.внутр.покр.кр°С	33,4	38,6	38,6	27,5	33,3	33,3	37,9	27,3
t.чердака°С	32,0	34,0	34,0	26,0	32,0	32,0	35,0	25,7
t.внутр.покр.пом°С	27,6	28,2	28,2	28,4	27,4	27,6	29,1	28,4
t.помещения°С	26,5	27,3	27,3	27,2	26,4	26,6	27,5	27,2
Скорость м/с	Скорость ветра v= 4 м/с				Скорость ветра v= 4 м/с			
t.нар.воздуха°С	36,0	40,0	40,0	26,0	36,0	38,5	38,0	26,0
t.внешн.покр.кр°С	36,8	52,4	52,4	27,1	35,3	38,1	39,5	27,9
t.внутр.покр.кр°С	34,0	37,6	37,6	28,3	33,9	33,6	37,7	28,1
t.чердака°С	32,5	34,0	34,0	26,0	32,5	33,0	33,5	26,0
t.внутр.покр.пом°С	27,4	28,4	28,4	29,6	27,5	27,9	28,9	28,8
t.помещения°С	26,4	27,6	27,6	28,5	26,2	26,5	27,2	28,1

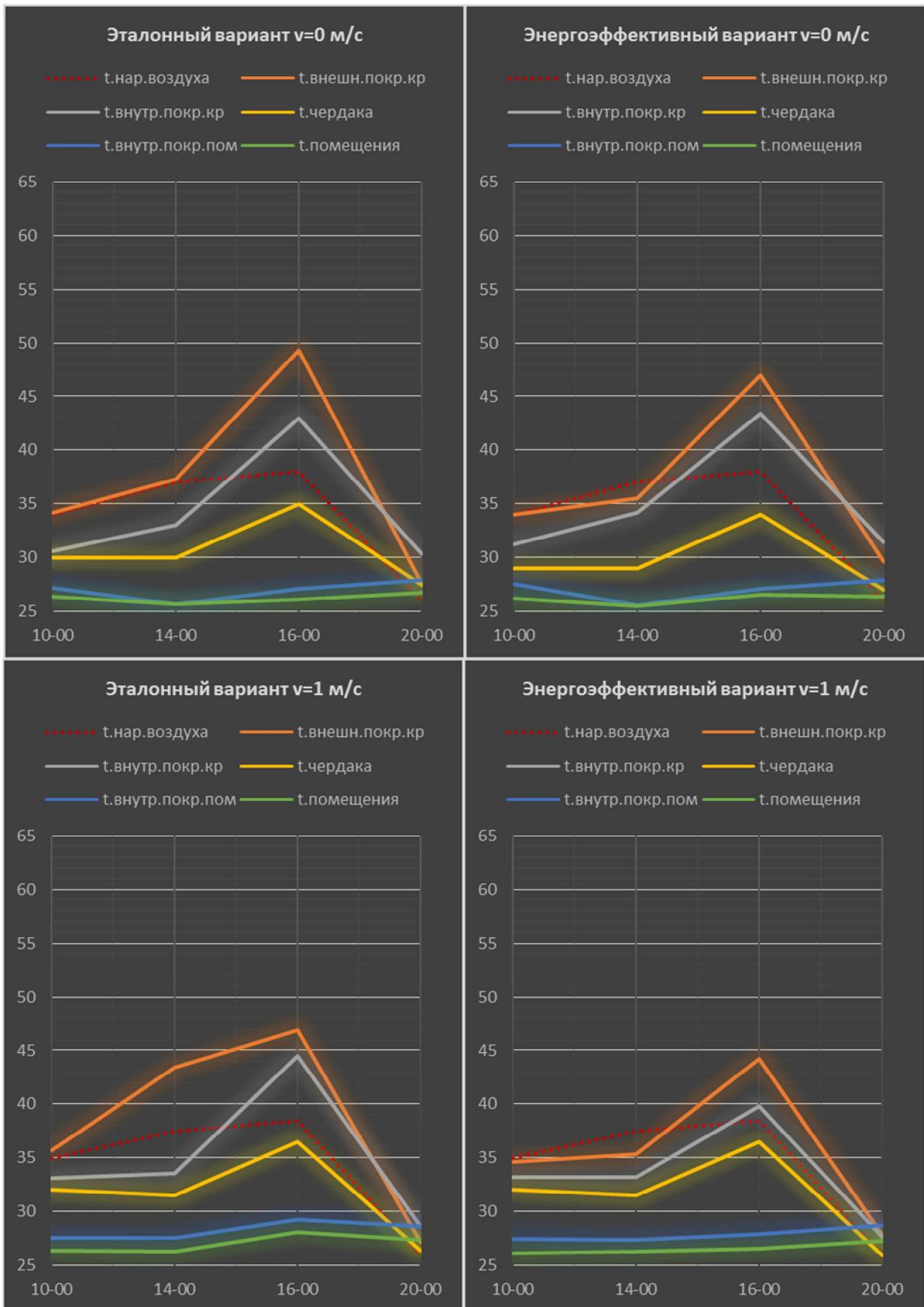


Рис.3.3. Измерение температур поверхностей ограждения в зависимости от скорости ветра за 17 августа 2015 года.

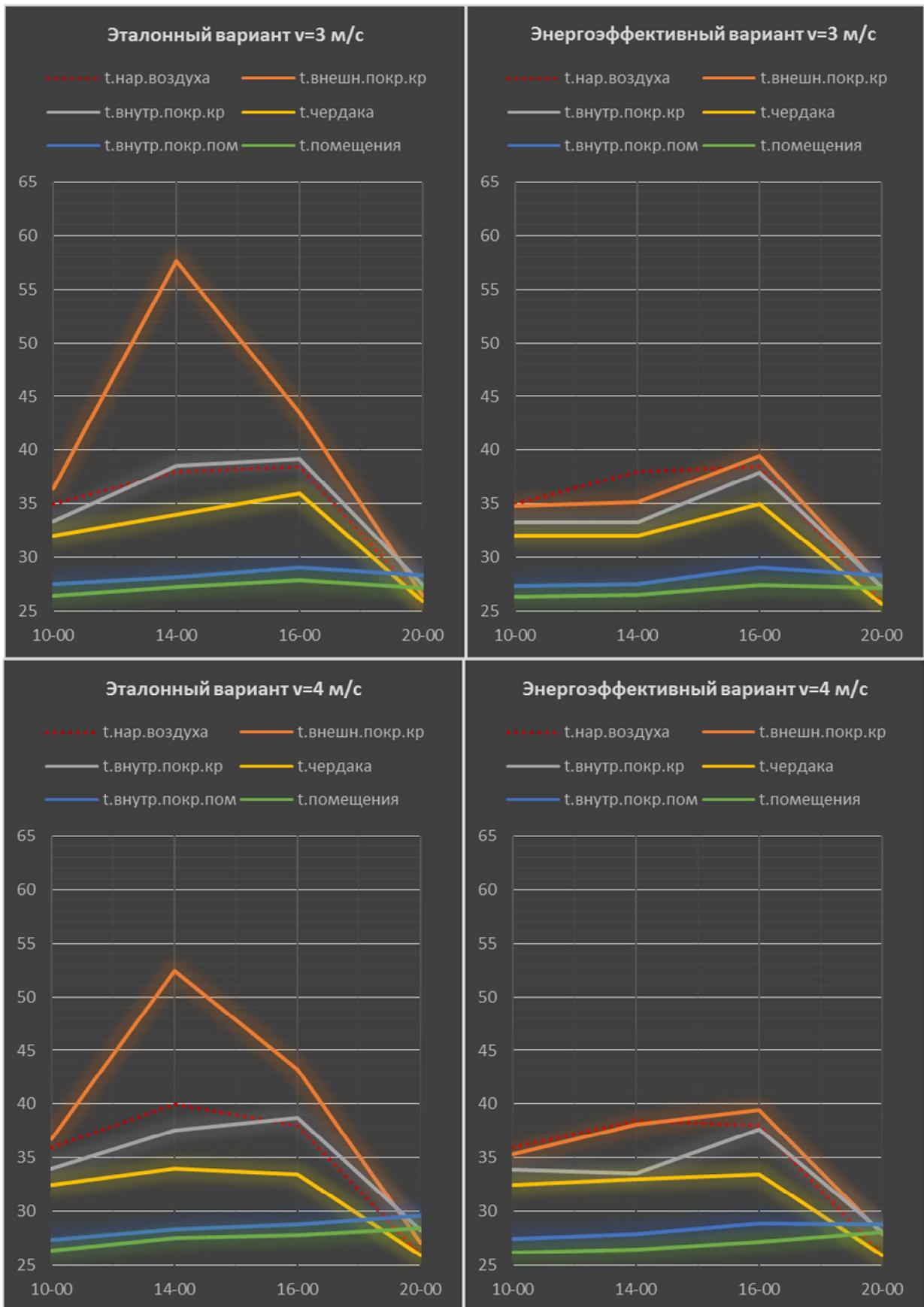


Рис.3.3(продолжение). Измерение температур поверхностей ограждения в зависимости от скорости ветра за 17 августа 2015 года.

Дата: 18.08.2015 г.

Таблица 3.2

Образцы	Эталонный вариант				Энергоэффективный вариант			
	10 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup>	16 <sup>00</sup>	20 <sup>00</sup>	10 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup>	16 <sup>00</sup>	20 <sup>00</sup>
Время								
Скорость м/с	Скорость ветра v= 0 м/с				Скорость ветра v= 0 м/с			
t.нар.воздуха°С	35,0	42,0	45,0	27,0	35,0	42,0	45,0	27,0
t.внешн.покр.кр°С	35,0	38,3	56,0	28,0	34,2	37,9	49,5	30,0
t.внутр.покр.кр°С	30,5	34,8	45,8	31,1	30,6	35,1	43,8	31,7
t.чердака°С	27,0	32,0	36,0	27,0	26,7	32,0	36,0	28,0
t.внутр.покр.пом°С	25,5	26,2	27,8	28,7	25,8	26,1	27,8	28,6
t.помещения°С	24,9	25,4	26,7	27,4	24,7	25,2	26,3	28,1
Скорость м/с	Скорость ветра v= 1 м/с				Скорость ветра v= 1 м/с			
t.нар.воздуха°С	35,0	44,0	40,0	26,0	35,0	44,0	40,0	26,0
t.внешн.покр.кр°С	35,7	53,1	42,5	27,1	34,8	51,9	40,3	27,9
t.внутр.покр.кр°С	33,2	41,3	40,7	28,8	33,5	37,9	37,7	27,9
t.чердака°С	32,0	36,0	34,5	26,5	32,0	36,0	34,5	26,0
t.внутр.покр.пом°С	27,1	26,9	28,0	28,7	27,2	27,1	27,1	28,6
t.помещения°С	26,2	25,9	26,8	27,5	26,1	26,1	26,4	27,4
Скорость м/с	Скорость ветра v= 3 м/с				Скорость ветра v= 3 м/с			
t.нар.воздуха°С	35,0	44,0	37,0	26,0	35,0	44,0	37,0	26,0
t.внешн.покр.кр°С	36,1	52,7	41,5	26,6	34,9	49,5	40,0	27,1
t.внутр.покр.кр°С	33,4	41,8	38,4	27,7	33,2	39,1	36,8	27,3
t.чердака°С	32,0	36,5	34,0	26,0	32,0	35,0	34,0	25,6
t.внутр.покр.пом°С	27,3	27,1	28,2	28,6	27,1	27,4	28,2	28,6
t.помещения°С	26,4	26,1	27,0	27,4	26,2	26,9	26,6	27,1
Скорость м/с	Скорость ветра v= 4 м/с				Скорость ветра v= 4 м/с			
t.нар.воздуха°С	36,0	44,0	36,0	26,0	36,0	44,0	36,0	26,0
t.внешн.покр.кр°С	36,9	52,4	38,5	27,8	35,3	49,2	36,4	27,3
t.внутр.покр.кр°С	34,0	41,3	37,3	27,9	34,1	38,9	36,3	27,4
t.чердака°С	32,0	36,5	34,5	25,5	32,0	35,0	34,5	25,5
t.внутр.покр.пом°С	27,7	26,9	29,4	28,5	27,7	27,1	29,6	28,5
t.помещения°С	26,6	26,1	28,2	28,1	26,3	26,8	27,6	27,8

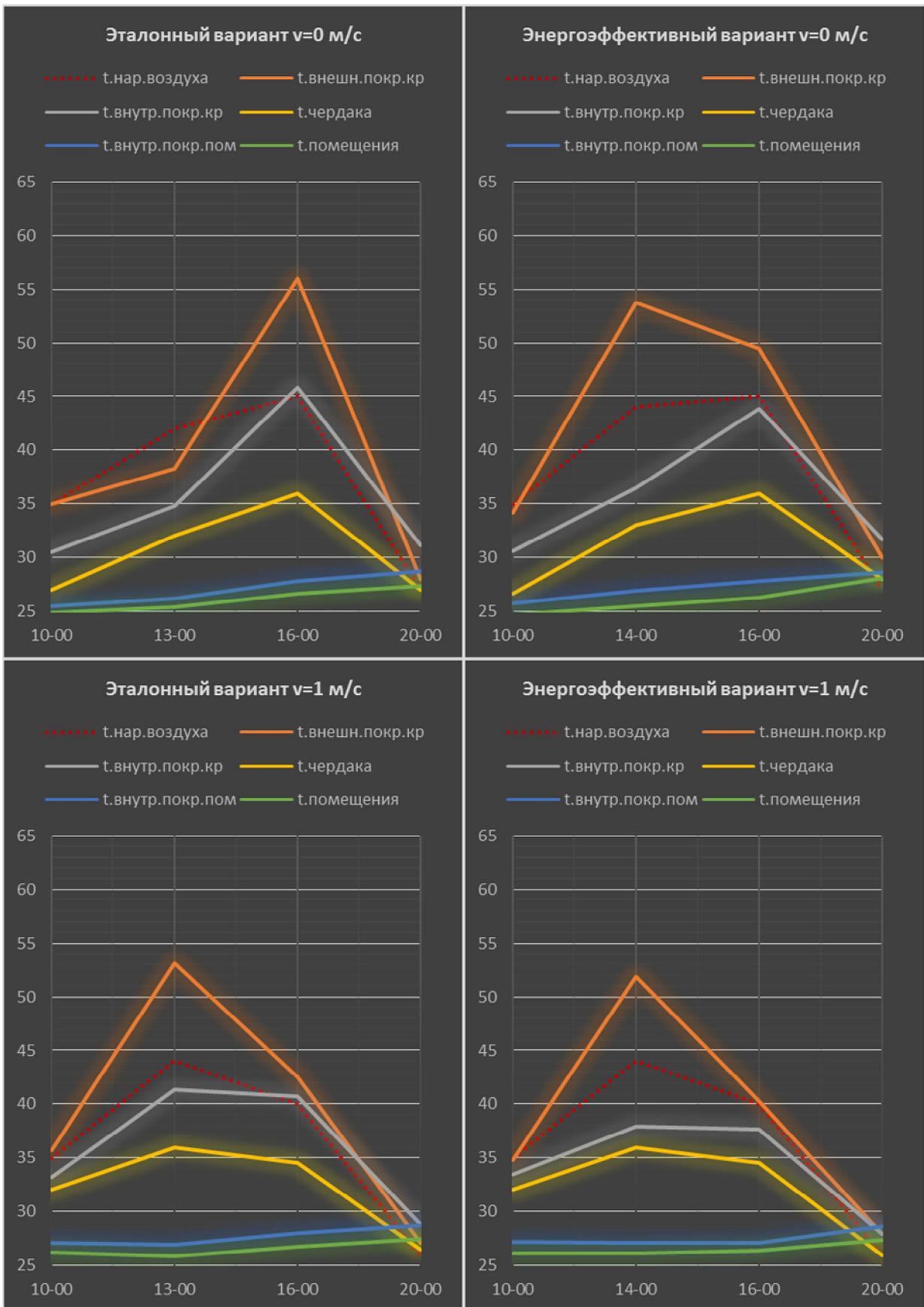


Рис.3.4. Измерение температур поверхностей ограждения в зависимости от скорости ветра за 18 августа 2015 года.

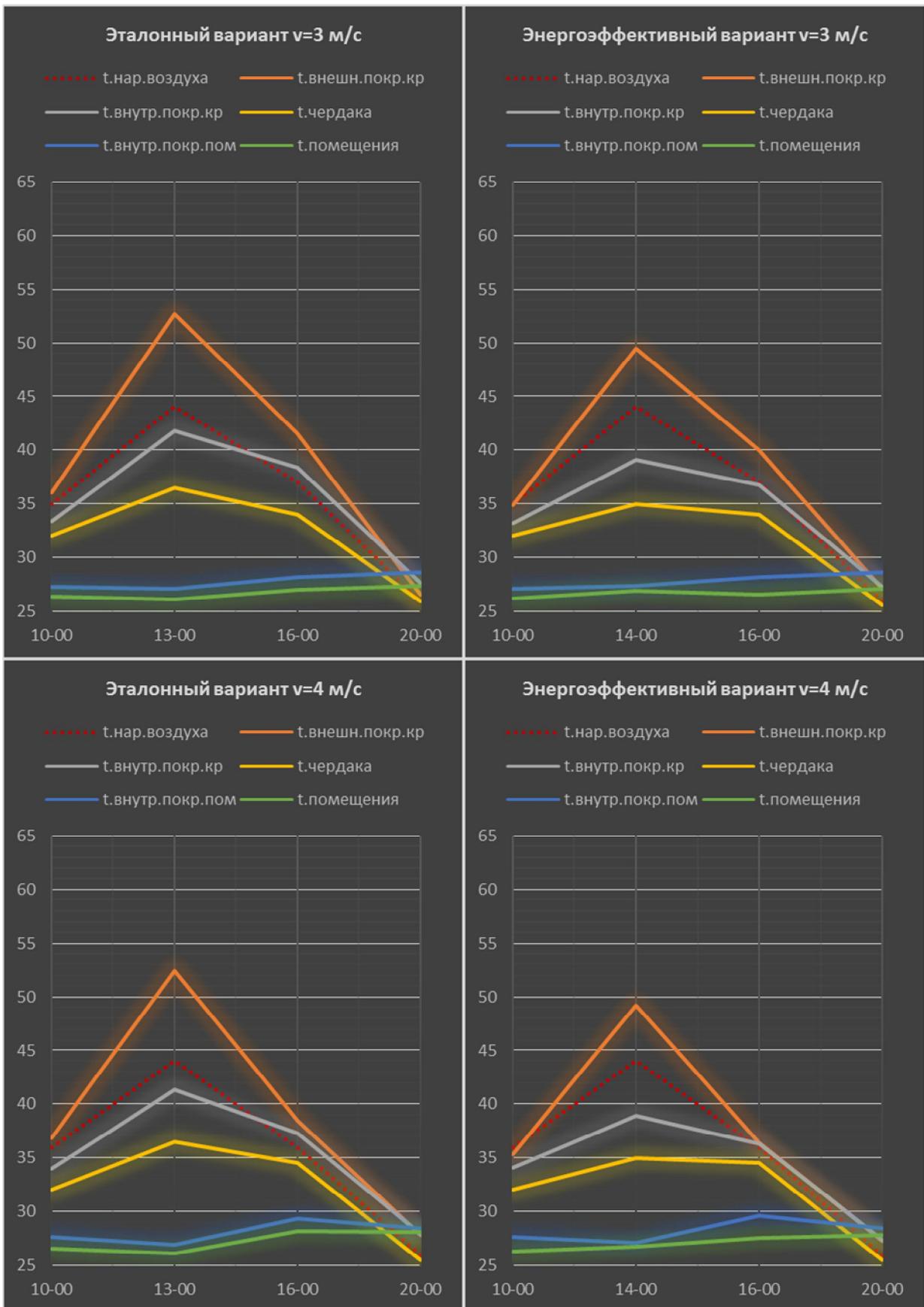


Рис.3.4(продолжение). Измерение температур поверхностей ограждения в зависимости от скорости ветра за 18 августа 2015 года.

Дата: 19.08.2015 г.

Таблица 3.3

Образцы	Эталонный вариант				Энергоэффективный вариант			
	10 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup>	16 <sup>00</sup>	20 <sup>00</sup>	10 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup>	16 <sup>00</sup>	20 <sup>00</sup>
Время								
Скорость м/с	Скорость ветра v= 0 м/с				Скорость ветра v= 0 м/с			
t.нар.воздуха°С	37,0	43,0	42,0	28,0	37,0	43,0	42,0	28,0
t.внешн.покр.кр°С	37,7	63,2	48,2	29,4	37,3	48,3	52,9	31,1
t.внутр.покр.кр°С	33,1	42,0	41,2	32,4	34,6	37,1	44,3	32,8
t.чердака°С	30,0	35,0	35,0	30,0	30,0	34,0	36,0	28,5
t.внутр.покр.пом°С	26,4	27,7	28,6	29,7	26,2	27,7	28,7	29,6
t.помещения°С	25,6	26,6	27,1	28,4	25,4	26,3	27,5	27,8
Скорость м/с	Скорость ветра v= 1 м/с				Скорость ветра v= 1 м/с			
t.нар.воздуха°С	40,5	43,0	39,0	28,0	40,5	43,0	39,0	28,0
t.внешн.покр.кр°С	37,8	59,0	42,5	28,9	37,1	49,1	40,9	29,6
t.внутр.покр.кр°С	33,9	44,4	41,0	30,4	35,4	47,3	38,2	29,9
t.чердака°С	33,0	36,0	36,0	28,0	33,0	36,0	35,0	28,0
t.внутр.покр.пом°С	26,4	28,3	28,9	29,7	26,8	28,3	28,9	29,6
t.помещения°С	25,7	27,1	27,7	28,4	25,5	26,8	27,2	27,8
Скорость м/с	Скорость ветра v= 3 м/с				Скорость ветра v= 3 м/с			
t.нар.воздуха°С	42,0	43,0	38,0	28,0	42,0	43,0	38,0	28,0
t.внешн.покр.кр°С	38,4	58,0	43,4	28,4	37,4	44,5	39,3	28,8
t.внутр.покр.кр°С	35,3	41,4	38,9	29,6	35,8	38,9	37,8	29,1
t.чердака°С	34,0	36,0	36,0	28,0	34,0	36,0	35,0	28,0
t.внутр.покр.пом°С	26,7	28,4	29,0	29,7	27,0	28,4	29,0	29,6
t.помещения°С	25,8	27,2	27,8	28,4	25,6	26,8	27,3	27,9
Скорость м/с	Скорость ветра v= 4 м/с				Скорость ветра v= 4 м/с			
t.нар.воздуха°С	42,0	43,0	36,5	27,0	42,0	43,0	36,5	27,0
t.внешн.покр.кр°С	38,6	50,3	40,6	28,1	38,5	43,2	36,8	28,4
t.внутр.покр.кр°С	36,6	41,0	37,8	29,3	35,2	39,3	36,9	28,6
t.чердака°С	34,0	36,0	35,0	28,0	34,0	36,0	34,0	28,0
t.внутр.покр.пом°С	26,9	28,6	29,1	29,7	26,8	28,6	29,1	29,6
t.помещения°С	26,7	27,3	27,9	28,4	25,6	26,9	27,4	27,9

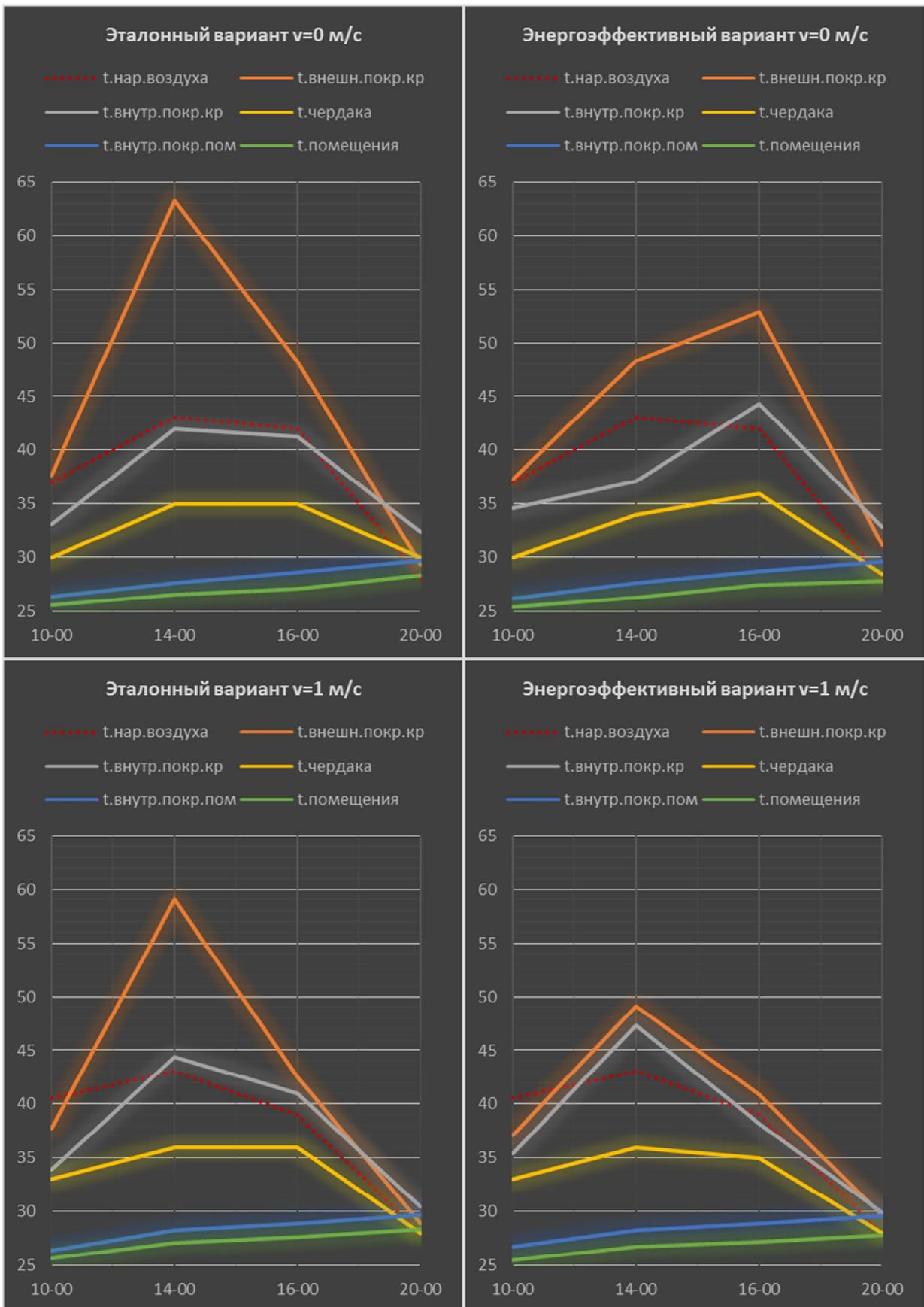


Рис.3.5. Измерение температур поверхностей ограждения в зависимости от скорости ветра за 19 августа 2015 года.

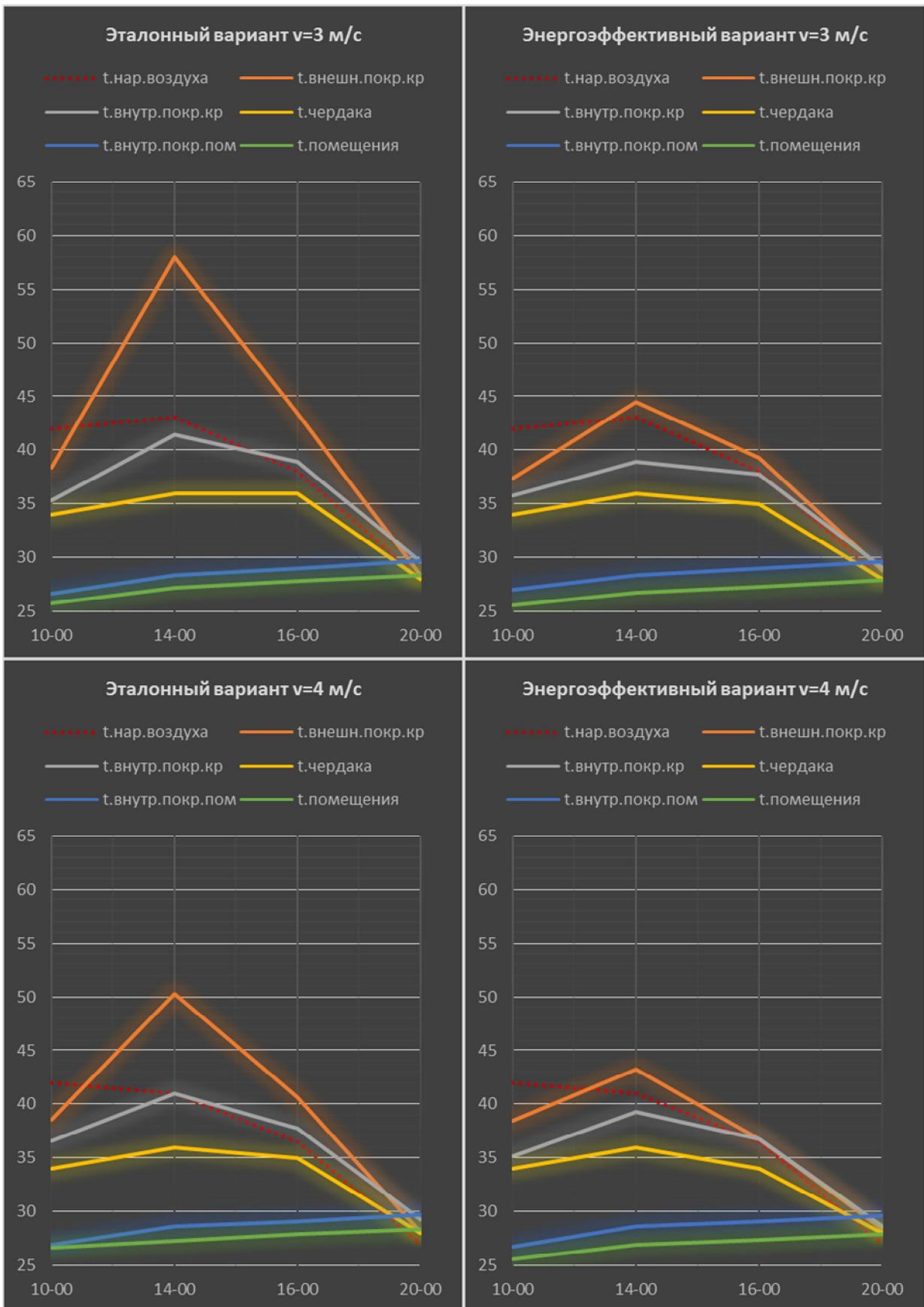


Рис.3.5(продолжение). Измерение температур поверхностей ограждения в зависимости от скорости ветра за 19 августа 2015 года.

Дата: 20.08.2015 г.

Таблица 3.4

Образцы	Эталонный вариант				Энергоэффективный вариант			
	10 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup>	16 <sup>00</sup>	20 <sup>00</sup>	10 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup>	16 <sup>00</sup>	20 <sup>00</sup>
Время								
Скорость м/с	Скорость ветра v= 0 м/с				Скорость ветра v= 0 м/с			
t.нар.воздуха <sup>°C</sup>	34,0	41,0	38,5	27,0	34,0	41,0	38,5	27,0
t.внешн.покр.кр <sup>°C</sup>	34,3	61,1	47,1	28,7	34,0	49,8	48,2	30,5
t.внутр.покр.кр <sup>°C</sup>	30,8	41,2	44,8	31,8	31,3	36,6	43,8	32,4
t.чердака <sup>°C</sup>	30,0	35,0	37,0	29,0	29,0	34,0	35,0	29,5
t.внутр.покр.пом <sup>°C</sup>	27,1	28,6	29,5	30,1	27,4	28,4	29,1	29,8
t.помещения <sup>°C</sup>	26,3	27,5	28,3	28,8	26,1	27,0	27,6	28,1
Скорость м/с	Скорость ветра v= 1 м/с				Скорость ветра v= 1 м/с			
t.нар.воздуха <sup>°C</sup>	35,0	41,0	37,0	27,0	35,0	41,0	37,0	27,0
t.внешн.покр.кр <sup>°C</sup>	35,9	49,7	43,3	28,3	34,4	46,8	43,8	29,4
t.внутр.покр.кр <sup>°C</sup>	33,1	41,3	41,4	29,8	33,4	37,0	39,7	29,3
t.чердака <sup>°C</sup>	32,0	35,5	35,5	28,0	32,0	35,0	35,0	27,0
t.внутр.покр.пом <sup>°C</sup>	27,4	28,8	29,6	30,1	27,6	28,6	29,3	29,8
t.помещения <sup>°C</sup>	26,5	27,6	28,4	28,8	26,2	27,0	27,6	28,0
Скорость м/с	Скорость ветра v= 3 м/с				Скорость ветра v= 3 м/с			
t.нар.воздуха <sup>°C</sup>	35,0	41,0	36,5	27,0	35,0	41,0	36,5	27,0
t.внешн.покр.кр <sup>°C</sup>	36,3	48,8	43,9	27,7	34,9	44,0	38,0	28,6
t.внутр.покр.кр <sup>°C</sup>	33,6	40,4	38,7	28,9	33,4	37,8	37,3	28,5
t.чердака <sup>°C</sup>	32,0	36,0	35,0	27,0	32,0	35,5	35,0	27,0
t.внутр.покр.пом <sup>°C</sup>	27,5	28,9	29,7	30,1	27,5	28,8	29,4	29,7
t.помещения <sup>°C</sup>	26,6	27,9	28,5	28,8	26,3	27,1	27,8	27,9
Скорость м/с	Скорость ветра v= 4 м/с				Скорость ветра v= 4 м/с			
t.нар.воздуха <sup>°C</sup>	36,0	42,0	35,5	27,0	36,0	42,0	35,5	27,0
t.внешн.покр.кр <sup>°C</sup>	36,6	54,5	37,6	27,4	35,3	43,6	36,1	28,7
t.внутр.покр.кр <sup>°C</sup>	34,0	40,6	37,1	28,9	33,8	38,6	36,3	28,9
t.чердака <sup>°C</sup>	32,0	36,5	34,5	28,0	32,5	36,0	34,5	28,0
t.внутр.покр.пом <sup>°C</sup>	27,5	29,0	29,8	30,0	27,7	28,9	29,5	29,7
t.помещения <sup>°C</sup>	26,5	27,9	28,6	28,7	26,3	27,3	27,8	28,0

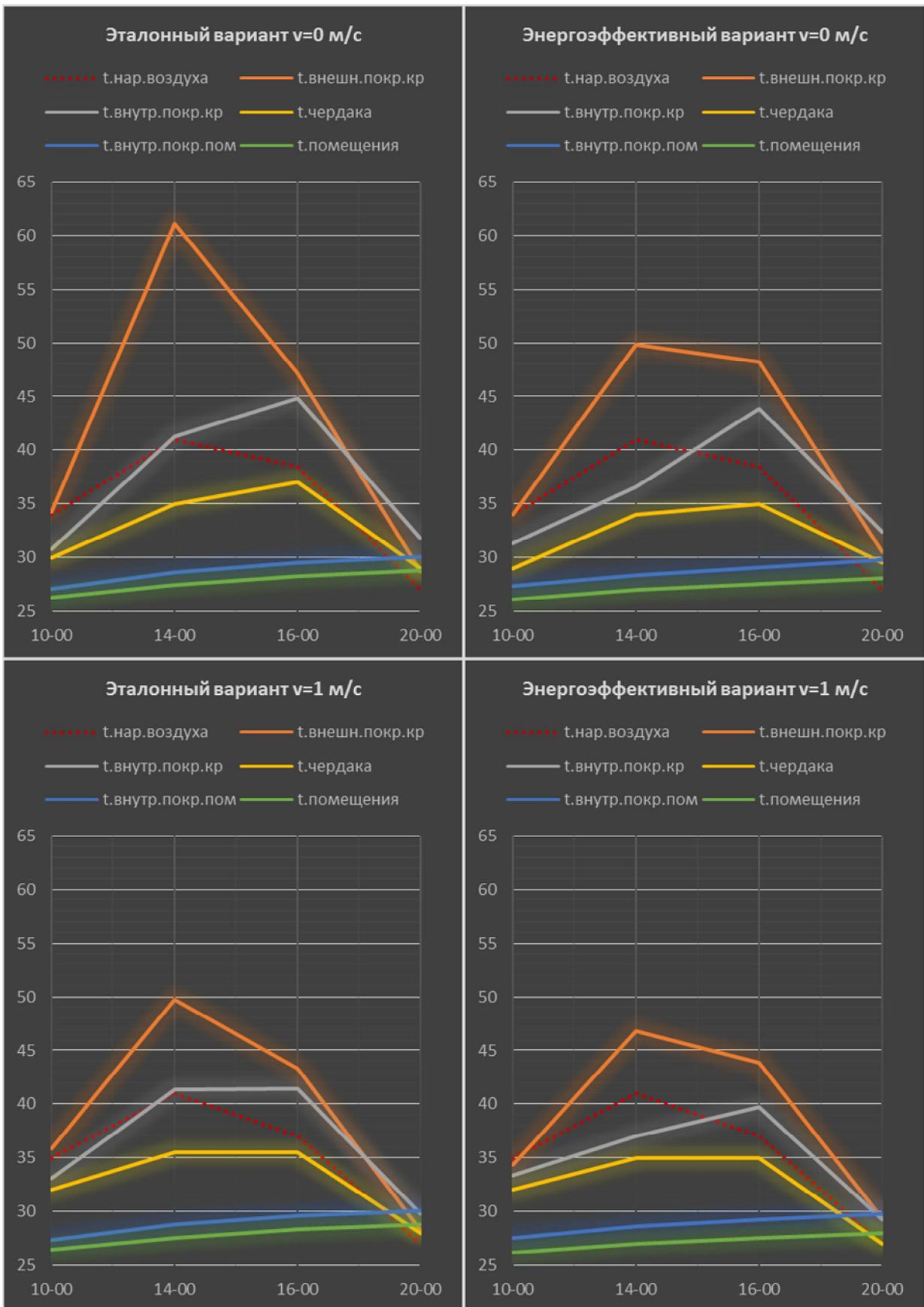


Рис.3.6. Измерение температур поверхностей ограждения в зависимости от скорости ветра за 20 августа 2015 года.

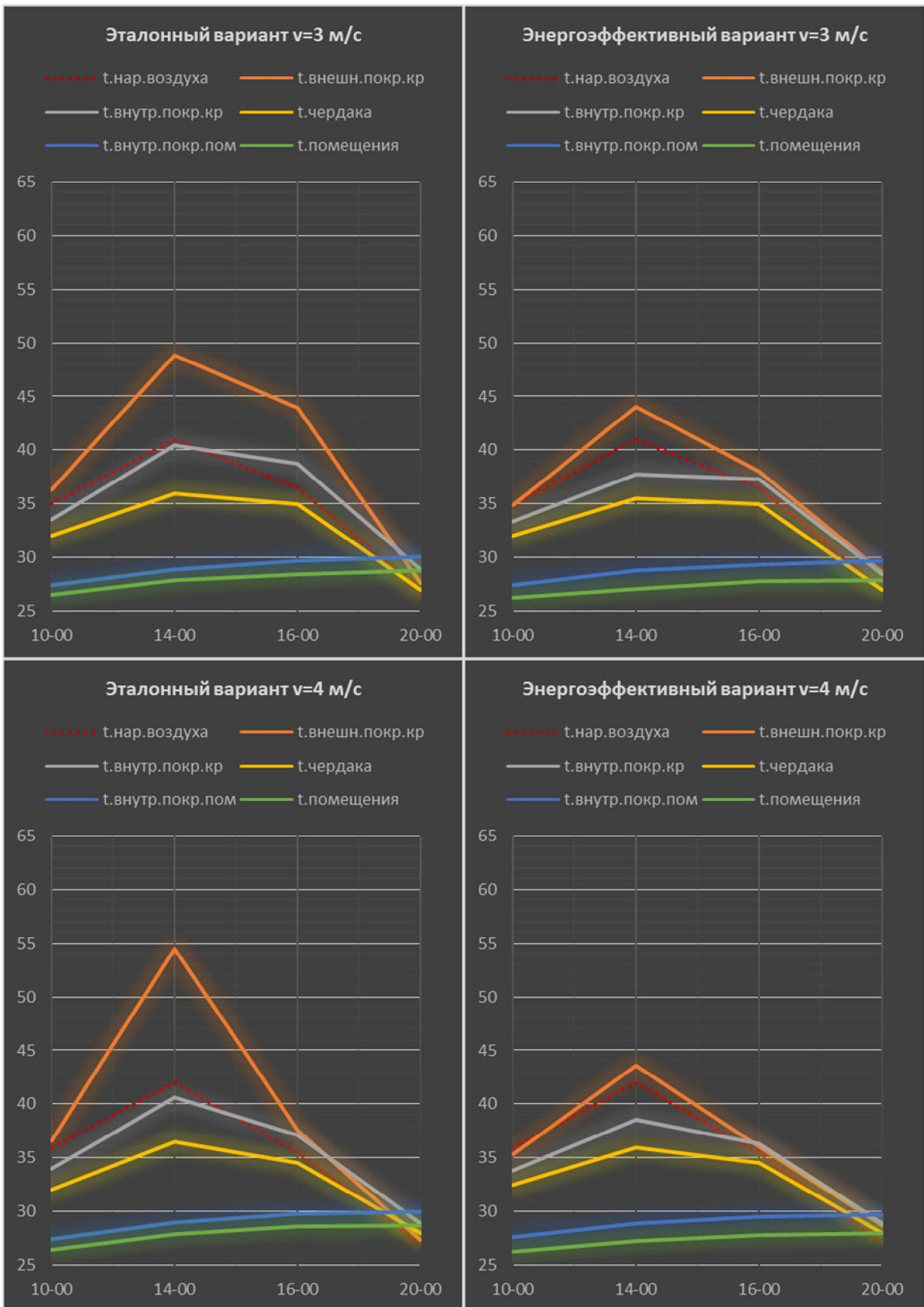


Рис.3.6(продолжение). Измерение температур поверхностей ограждения в зависимости от скорости ветра за 20 августа 2015 года.

Дата: 21.08.2015 г..

Таблица 3.5

Образцы	Эталонный вариант				Энергоэффективный вариант			
	10 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup>	16 <sup>00</sup>	20 <sup>00</sup>	10 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup>	16 <sup>00</sup>	20 <sup>00</sup>
Время								
Скорость м/с	Скорость ветра v= 0 м/с				Скорость ветра v= 0 м/с			
t.нар.воздуха <sup>°C</sup>	28,0	38,5	35,5	28,5	29,0	38,5	35,5	28,5
t.внешн.покр.кр <sup>°C</sup>	32,2	60,3	42,1	30,7	30,5	49,0	48,6	29,0
t.внутр.покр.кр <sup>°C</sup>	27,8	38,9	42,6	32,0	27,6	34,0	42,2	31,8
t.чердака <sup>°C</sup>	27,0	33,0	35,0	29,5	27,0	31,5	33,0	29,5
t.внутр.покр.пом <sup>°C</sup>	26,9	27,7	28,8	29,1	26,9	27,8	28,4	29,4
t.помещения <sup>°C</sup>	26,3	26,9	27,8	27,6	25,9	26,5	27,1	28,3
Скорость м/с	Скорость ветра v= 1 м/с				Скорость ветра v= 1 м/с			
t.нар.воздуха <sup>°C</sup>	28,0	39,0	35,0	27,5	28,0	39,0	35,0	27,5
t.внешн.покр.кр <sup>°C</sup>	31,2	55,3	43,0	28,4	30,0	45,5	40,9	29,6
t.внутр.покр.кр <sup>°C</sup>	28,0	38,9	38,7	30,1	27,8	34,9	37,8	29,6
t.чердака <sup>°C</sup>	27,0	33,0	34,0	27,5	27,0	32,5	33,5	27,5
t.внутр.покр.пом <sup>°C</sup>	26,9	27,9	28,9	29,4	26,9	28,0	28,6	29,1
t.помещения <sup>°C</sup>	26,3	27,0	27,8	28,3	25,9	26,5	27,1	27,6
Скорость м/с	Скорость ветра v= 3 м/с				Скорость ветра v= 3 м/с			
t.нар.воздуха <sup>°C</sup>	28,0	39,0	34,0	27,0	28,0	39,0	34,0	27,0
t.внешн.покр.кр <sup>°C</sup>	32,4	57,7	36,4	27,6	30,4	45,6	35,7	28,4
t.внутр.покр.кр <sup>°C</sup>	28,2	38,4	36,5	28,8	27,9	35,6	35,2	28,3
t.чердака <sup>°C</sup>	27,0	34,0	33,0	27,0	27,0	33,5	33,0	27,0
t.внутр.покр.пом <sup>°C</sup>	26,9	28,1	29,0	29,4	27,0	28,1	28,8	29,1
t.помещения <sup>°C</sup>	26,3	27,1	28,0	28,3	26,0	26,7	27,3	28,6
Скорость м/с	Скорость ветра v= 4 м/с				Скорость ветра v= 4 м/с			
t.нар.воздуха <sup>°C</sup>	28,0	40,0	33,5	26,5	28,0	40,0	33,5	26,5
t.внешн.покр.кр <sup>°C</sup>	31,5	52,3	34,9	27,2	30,5	41,3	34,3	27,8
t.внутр.покр.кр <sup>°C</sup>	28,3	37,8	35,0	28,4	28,4	35,9	33,9	27,9
t.чердака <sup>°C</sup>	26,0	34,0	32,0	26,0	26,0	33,5	32,0	26,0
t.внутр.покр.пом <sup>°C</sup>	26,9	28,3	29,1	29,4	26,9	28,2	28,8	29,0
t.помещения <sup>°C</sup>	26,3	27,4	28,1	28,3	25,9	26,8	27,3	28,5

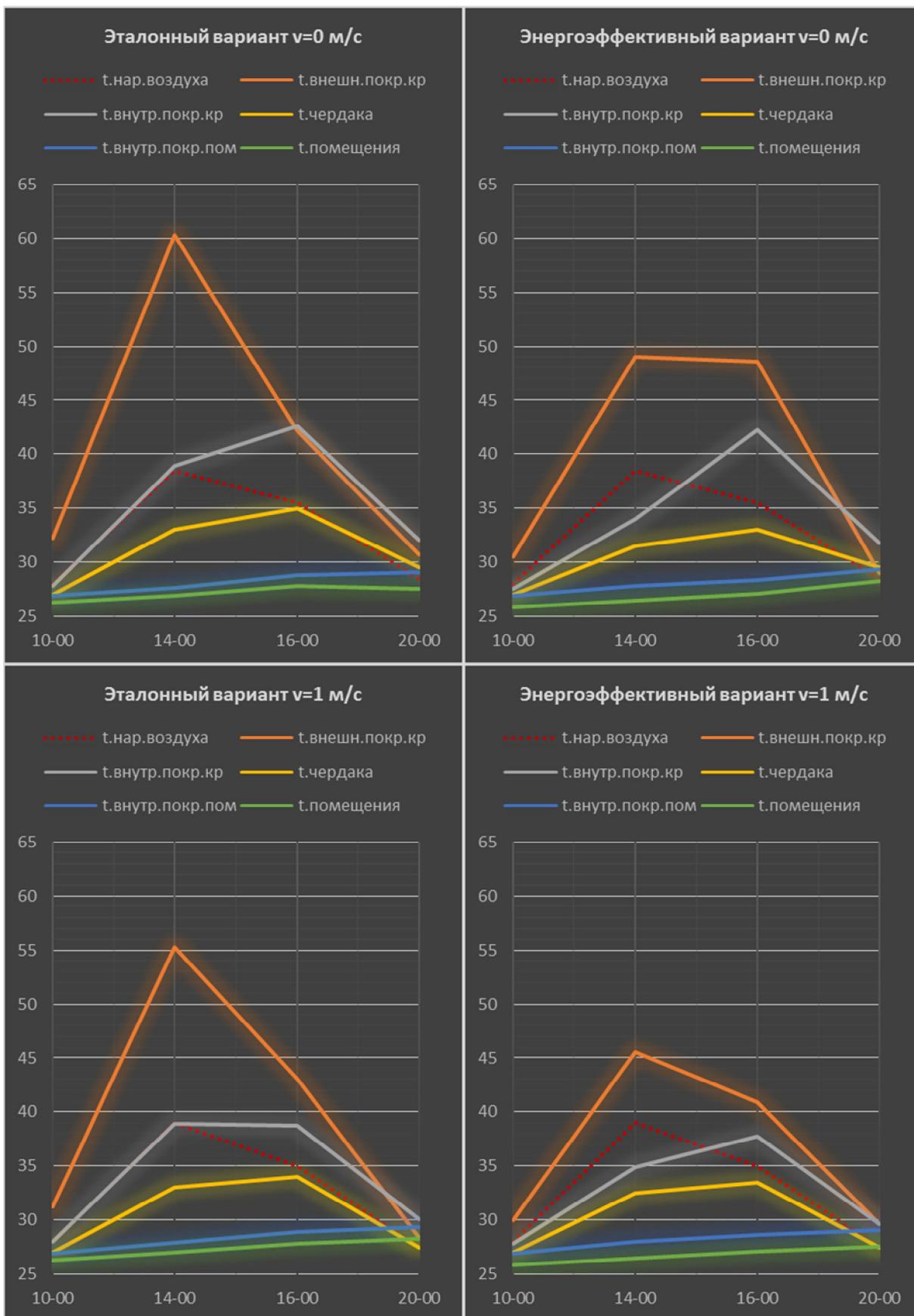


Рис.3.7. Измерение температур поверхностей ограждения в зависимости от скорости ветра за 21 августа 2015 года.

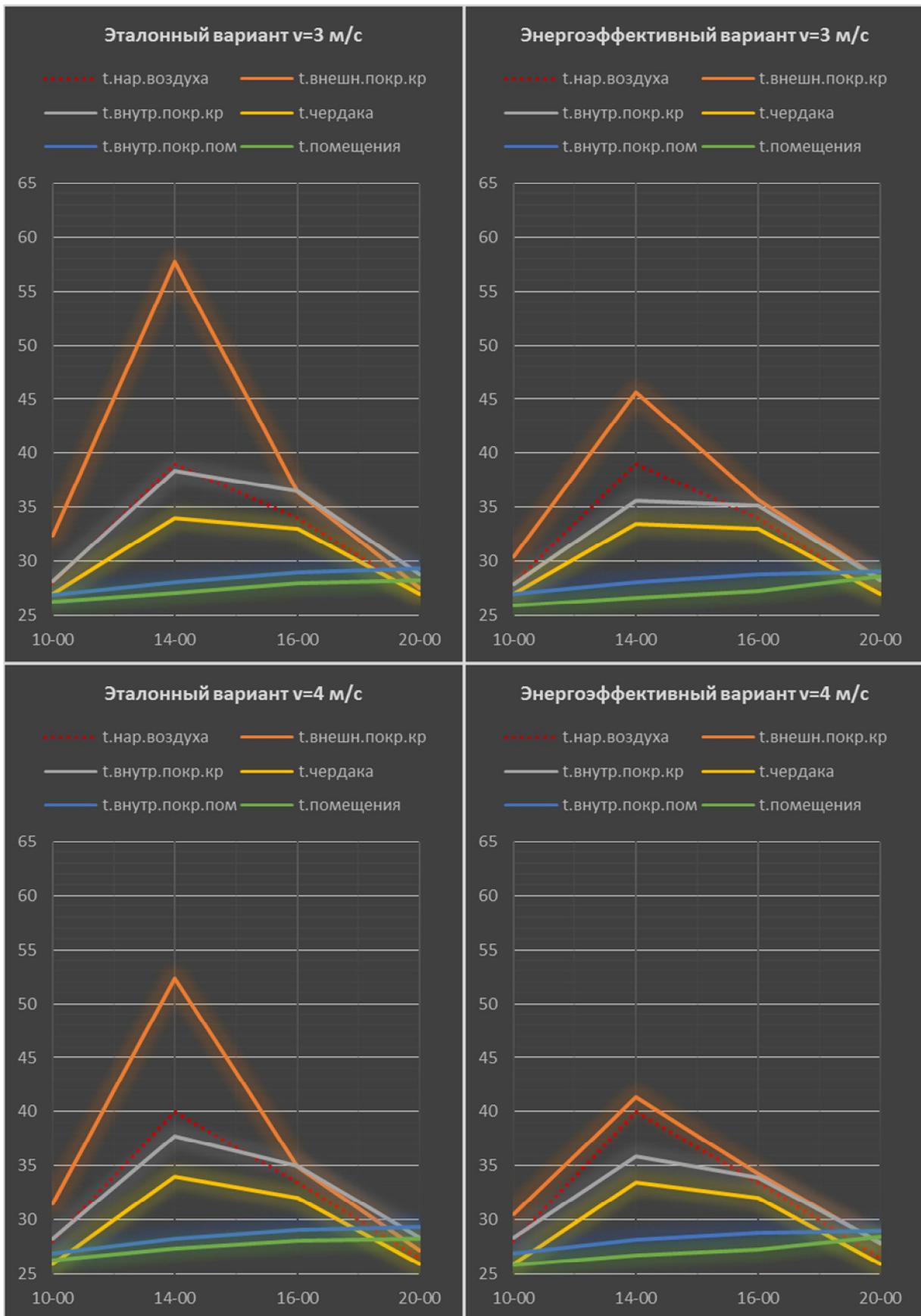


Рис.3.7(продолжение). Измерение температур поверхностей ограждения в зависимости от скорости ветра за 21 августа 2015 года.

Дата: 31.01.2016 г.

Таблица 3.6

Образцы	Эталонный вариант				Энергоэффективный вариант			
	08 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup>	18 <sup>00</sup>	22 <sup>00</sup>	08 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup>	18 <sup>00</sup>	22 <sup>00</sup>
Время								
Скорость м/с	Скорость ветра v= 0 м/с				Скорость ветра v= 0 м/с			
t.нар.воздуха <sup>°C</sup>	-0,5	3,0	4,0	1,5	-0,5	3,0	4,0	1,5
t.внешн.покр.кр <sup>°C</sup>	0,0	5,1	4,4	1,9	0,4	4,1	3,9	1,6
t.внутр.покр.кр <sup>°C</sup>	1,3	4,8	4,1	3,5	0,6	4,4	4,3	3,2
t.чердака <sup>°C</sup>	-1,5	0,5	1,0	0,0	-1,0	0,0	1,0	0,0
t.внутр.покр.пом <sup>°C</sup>	18,5	18,9	18,6	18,7	17,1	18,7	19,0	19,3
t.помещения <sup>°C</sup>	21,8	22,7	22,6	21,9	22,6	22,3	22,5	21,8
Скорость м/с	Скорость ветра v= 1 м/с				Скорость ветра v= 1 м/с			
t.нар.воздуха <sup>°C</sup>	-0,5	3,5	4,0	1,5	-0,5	3,5	4,0	1,5
t.внешн.покр.кр <sup>°C</sup>	0,5	5,2	4,3	1,8	0,5	4,2	3,8	1,7
t.внутр.покр.кр <sup>°C</sup>	1,2	4,8	4,6	3,0	0,7	4,4	4,3	2,9
t.чердака <sup>°C</sup>	-1,5	0,0	0,5	-1,0	-1,0	0,0	0,5	0,0
t.внутр.покр.пом <sup>°C</sup>	18,8	18,7	18,8	17,1	17,1	18,5	17,2	17,6
t.помещения <sup>°C</sup>	22,1	22,9	22,7	21,1	22,8	23,2	22,7	22,8
Скорость м/с	Скорость ветра v= 3 м/с				Скорость ветра v= 3 м/с			
t.нар.воздуха <sup>°C</sup>	-0,5	3,0	4,0	1,0	-0,5	3,0	4,0	1,0
t.внешн.покр.кр <sup>°C</sup>	0,8	4,9	4,1	1,8	0,5	4,1	3,9	1,9
t.внутр.покр.кр <sup>°C</sup>	1,1	4,4	4,3	2,9	0,8	4,3	4,3	2,8
t.чердака <sup>°C</sup>	-1,0	0,0	0,5	-1,0	-0,5	0,0	0,5	-1,0
t.внутр.покр.пом <sup>°C</sup>	19,1	18,7	18	17,7	17,4	17,7	17,3	17,2
t.помещения <sup>°C</sup>	22,8	21,8	22,5	22,4	22,6	21,8	22,5	22,4
Скорость м/с	Скорость ветра v= 4 м/с				Скорость ветра v= 4 м/с			
t.нар.воздуха <sup>°C</sup>	0,0	4,0	3,5	1,0	0,0	4,0	3,5	1,0
t.внешн.покр.кр <sup>°C</sup>	1,2	4,7	3,8	1,6	1,5	4,1	3,8	1,6
t.внутр.покр.кр <sup>°C</sup>	1,6	4,3	4,2	2,7	1,2	4,3	4,2	2,6
t.чердака <sup>°C</sup>	-1,0	0,0	0,0	-1,0	-0,5	0,0	0,0	-1,0
t.внутр.покр.пом <sup>°C</sup>	19,2	18,8	18,3	18,2	17,1	17,1	17,2	17,6
t.помещения <sup>°C</sup>	22,9	23,5	22,6	22,4	22,2	23,1	22,1	22,3

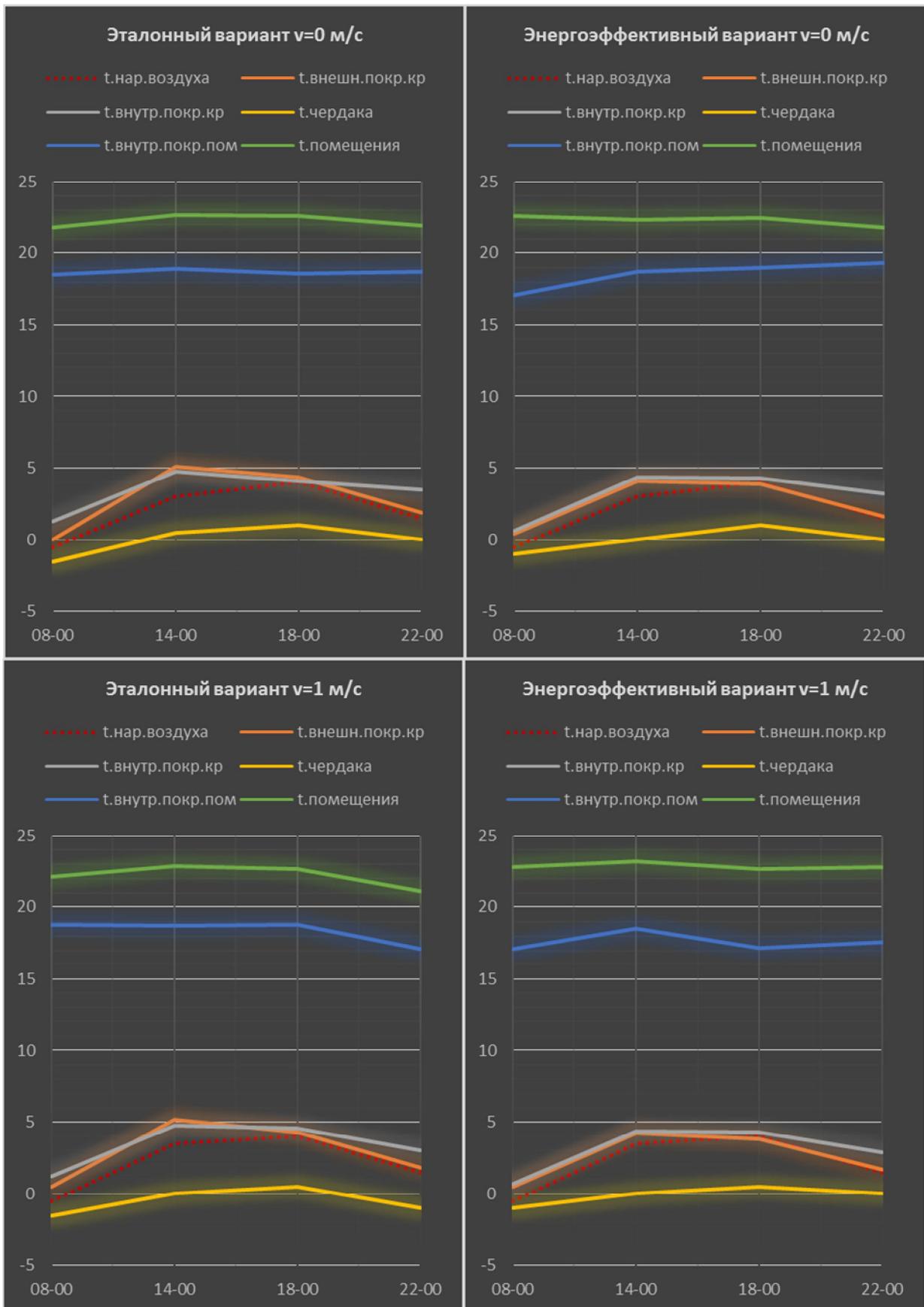


Рис.3.8. Измерение температур поверхностей ограждения в зависимости от скорости ветра за 31 января 2016 года.

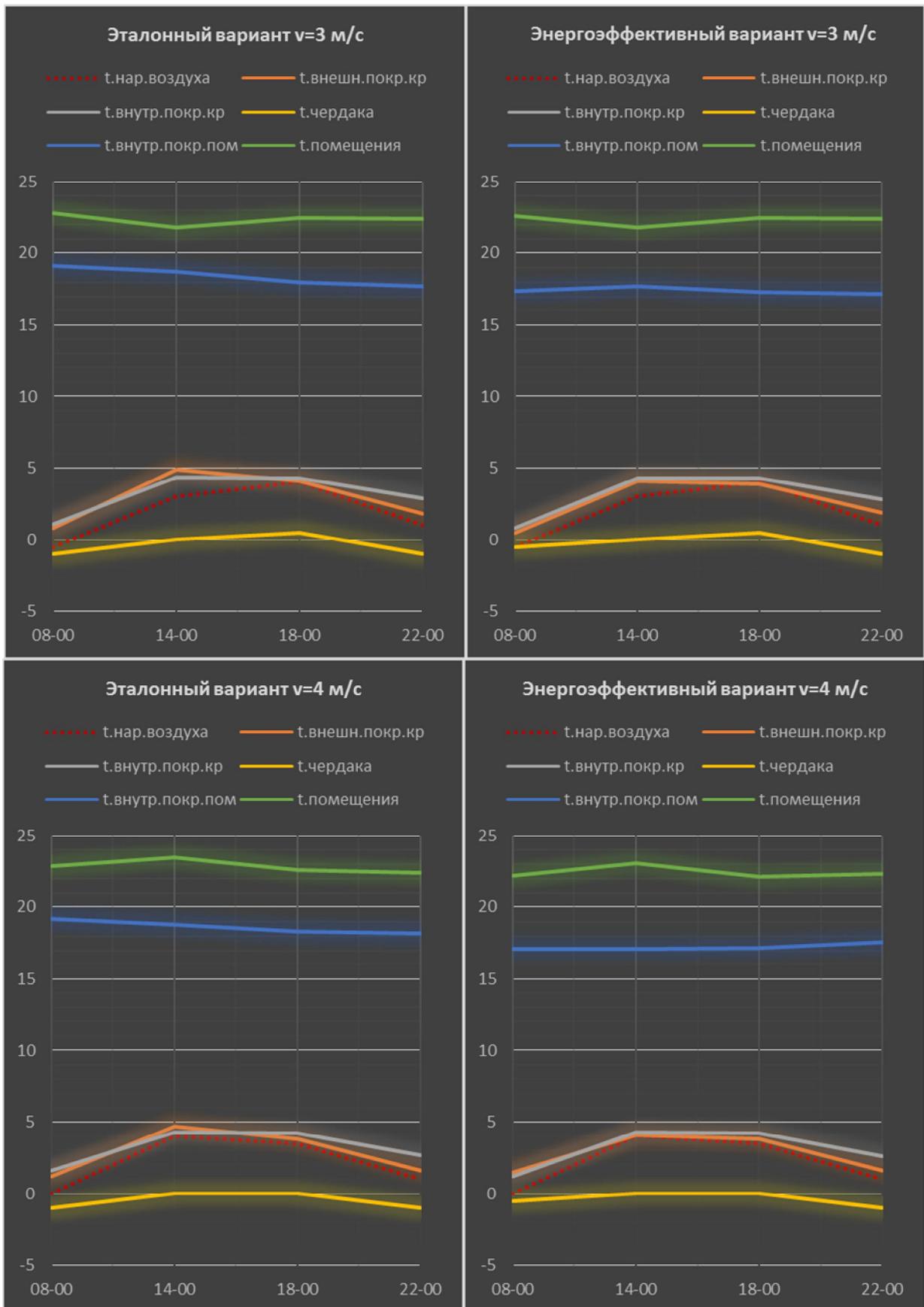


Рис.3.8(продолжение). Измерение температур поверхностей ограждения в зависимости от скорости ветра за 31 января 2016 года.

Дата: 13.02.2016 г.

Таблица 3.7

Образцы	Эталонный вариант				Энергоэффективный вариант			
	08 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup>	18 <sup>00</sup>	22 <sup>00</sup>	08 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup>	18 <sup>00</sup>	22 <sup>00</sup>
Время								
Скорость м/с	Скорость ветра v= 0 м/с				Скорость ветра v= 0 м/с			
t.нар.воздуха <sup>°C</sup>	-3,0	5,0	3,0	0,0	-2,0	5,0	3,0	0,0
t.внешн.покр.кр <sup>°C</sup>	-2,2	6,6	3,1	-0,2	-0,8	6,0	3,9	0,9
t.внутр.покр.кр <sup>°C</sup>	-1,2	7,3	5,2	2,1	-1,0	6,2	4,6	1,6
t.чердака <sup>°C</sup>	-5,0	2,0	1,5	-1,0	-5,0	1,0	1,0	-1,5
t.внутр.покр.пом <sup>°C</sup>	16,7	17,8	18,3	17,8	17,2	16,1	16,7	16,6
t.помещения <sup>°C</sup>	22,3	22,7	21,6	22,7	22,5	22	22,1	22,4
Скорость м/с	Скорость ветра v= 1 м/с				Скорость ветра v= 1 м/с			
t.нар.воздуха <sup>°C</sup>	-1,0	5,0	3,0	-0,5	-1,0	5,0	3,0	-0,5
t.внешн.покр.кр <sup>°C</sup>	-1,6	6,1	2,9	-0,3	-0,1	5,5	3,6	0,9
t.внутр.покр.кр <sup>°C</sup>	-1,7	6,9	4,8	1,6	-0,7	5,7	4,1	1,2
t.чердака <sup>°C</sup>	-5,0	2,0	0,0	-2,0	-4,0	1,0	0,0	-2,5
t.внутр.покр.пом <sup>°C</sup>	17,1	17,5	19,4	17,2	16,5	16,8	17,3	17,5
t.помещения <sup>°C</sup>	22,2	22,1	21,9	22,3	22,7	22,3	22,1	22,8
Скорость м/с	Скорость ветра v= 3 м/с				Скорость ветра v= 3 м/с			
t.нар.воздуха <sup>°C</sup>	-0,5	4,0	2,5	-0,5	-0,5	4,0	2,5	-0,5
t.внешн.покр.кр <sup>°C</sup>	-0,9	4,6	2,6	-0,4	0,6	4,8	3,3	0,9
t.внутр.покр.кр <sup>°C</sup>	-1,2	5,7	4,4	1,4	-0,2	4,9	3,6	1,2
t.чердака <sup>°C</sup>	-4,0	1,0	0,0	-2,0	-4,0	1,0	-0,5	-2,5
t.внутр.покр.пом <sup>°C</sup>	16,1	17,8	17,6	17,3	16,2	16,1	17,7	17,2
t.помещения <sup>°C</sup>	21,6	22	22,1	21,8	22,1	22,2	21,8	22,5
Скорость м/с	Скорость ветра v= 4 м/с				Скорость ветра v= 4 м/с			
t.нар.воздуха <sup>°C</sup>	0,0	3,0	2,0	-0,5	0,0	3,0	2,0	-0,5
t.внешн.покр.кр <sup>°C</sup>	0,5	4,1	2,3	-0,4	1,3	4,3	3,1	0,8
t.внутр.покр.кр <sup>°C</sup>	-0,4	5,3	4,0	1,4	0,1	4,6	3,4	1,1
t.чердака <sup>°C</sup>	-3,0	1,0	-0,5	-2,5	-3,0	0,0	-1,0	-3,0
t.внутр.покр.пом <sup>°C</sup>	17,3	17,6	17,6	17,9	16,9	16,7	17,1	17,3
t.помещения <sup>°C</sup>	22,2	21,9	22,6	22,3	22,7	22,6	21,7	22,6

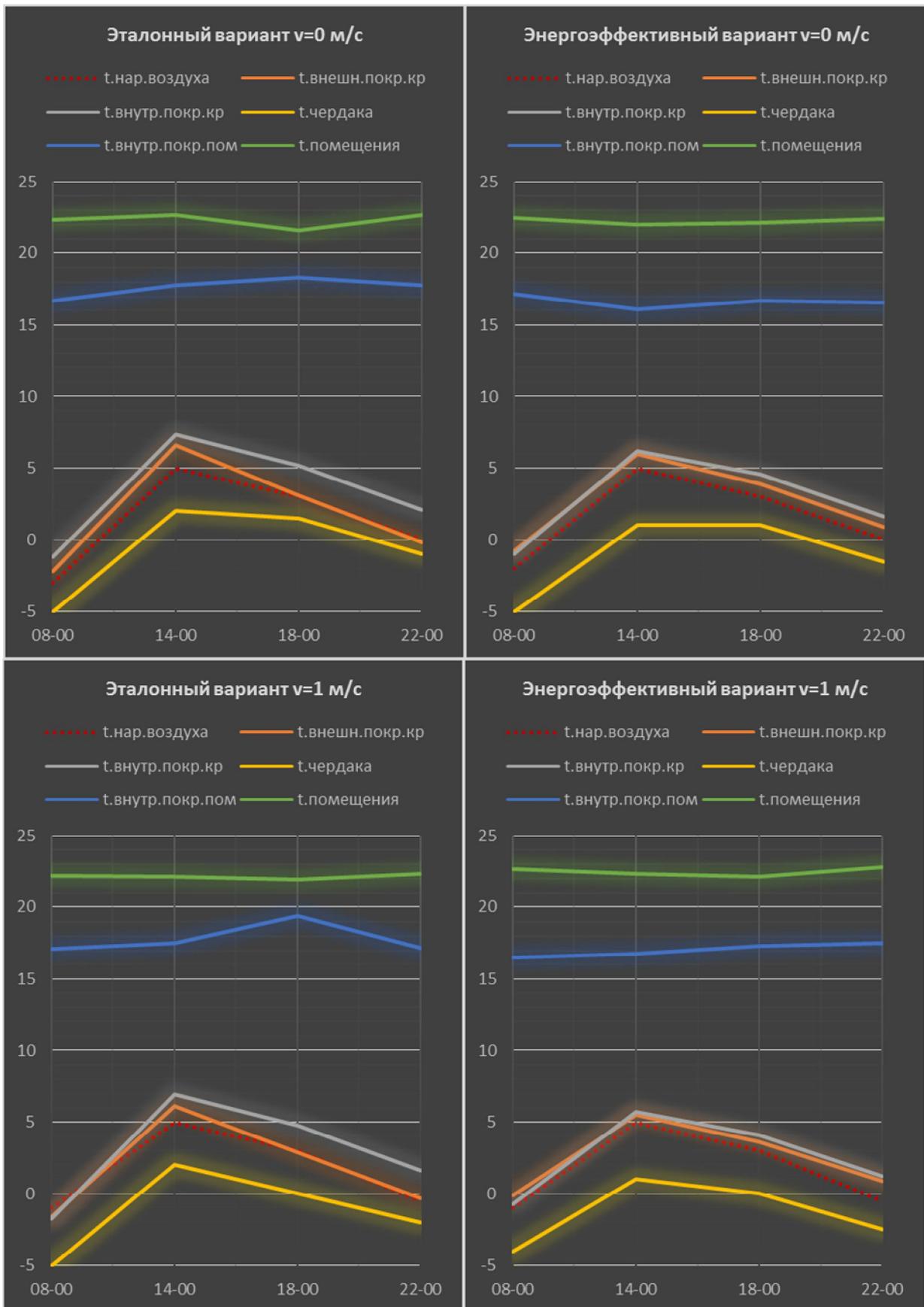


Рис.3.9. Измерение температур поверхностей ограждения в зависимости от скорости ветра за 13 февраля 2016 года.

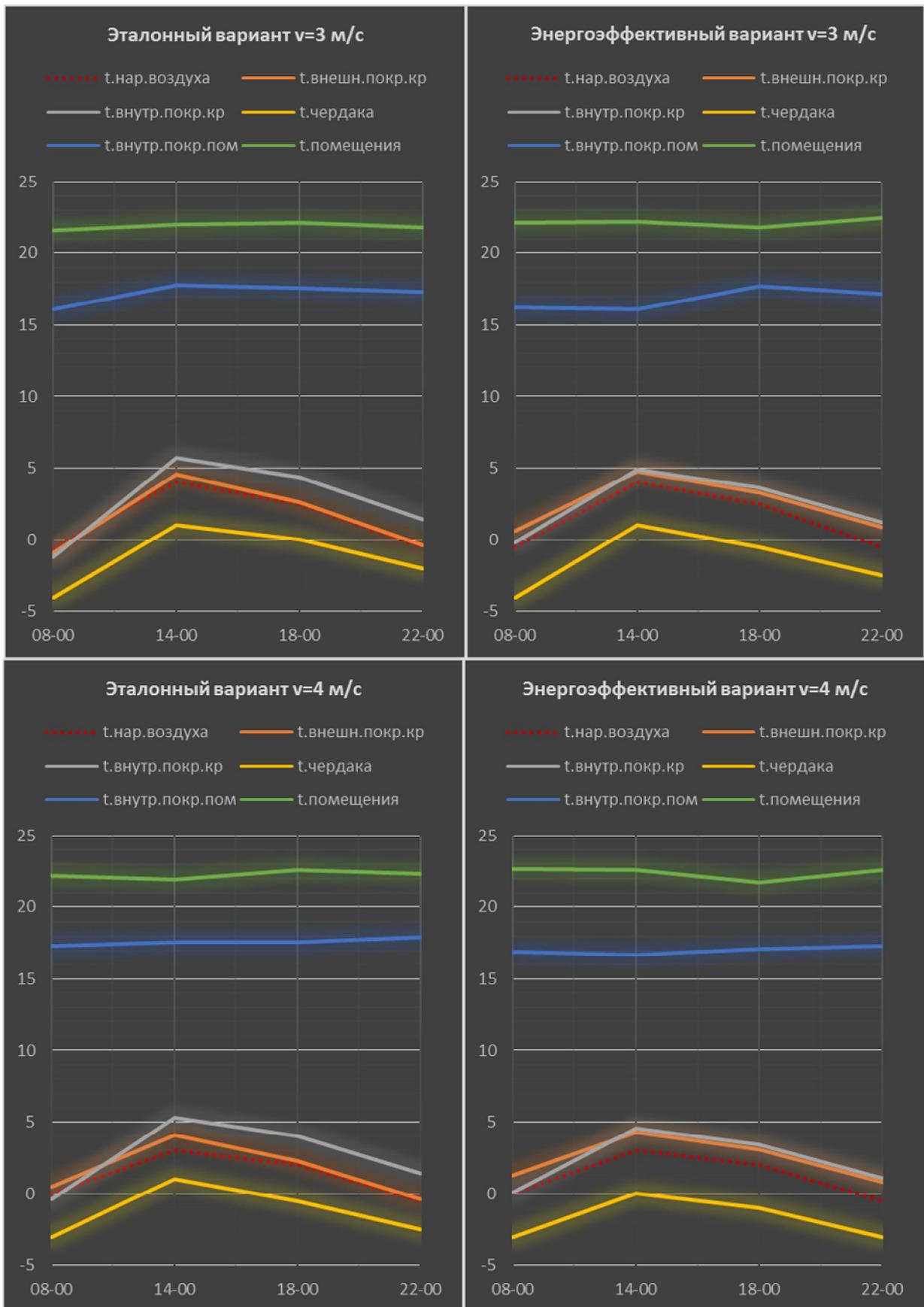


Рис.3.9(продолжение). Измерение температур поверхностей ограждения в зависимости от скорости ветра за 13 февраля 2016 года.

Дата: 14.02.2016 г.

Таблица 3.8

Образцы	Эталонный вариант				Энергоэффективный вариант			
	08 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup>	18 <sup>00</sup>	22 <sup>00</sup>	08 <sup>00</sup>	14 <sup>00</sup>	18 <sup>00</sup>	22 <sup>00</sup>
Время								
Скорость м/с	Скорость ветра v= 0 м/с				Скорость ветра v= 0 м/с			
t.нар.воздуха <sup>°C</sup>	-2,0	8,5	3,0	0,0	-2,0	8,5	3,0	0,0
t.внешн.покр.кр <sup>°C</sup>	-1,5	12	3,1	-0,2	0,1	10	3,9	0,9
t.внутр.покр.кр <sup>°C</sup>	-0,7	8,9	5,2	2,1	0,3	7,3	4,6	1,6
t.чердака <sup>°C</sup>	-4,0	3,0	1,5	-1,0	-4,0	2,0	1,0	-1,5
t.внутр.покр.пом <sup>°C</sup>	18,1	17,4	18,3	17,8	16,9	16,7	16,7	16,6
t.помещения <sup>°C</sup>	22,0	22,3	21,6	22,2	22,1	21,6	22,1	22,4
Скорость м/с	Скорость ветра v= 1 м/с				Скорость ветра v= 1 м/с			
t.нар.воздуха <sup>°C</sup>	-1,5	8,5	3,0	-0,5	-1,5	8,5	3,0	-0,5
t.внешн.покр.кр <sup>°C</sup>	-0,7	12,3	2,9	-0,3	0,4	10,1	3,6	0,9
t.внутр.покр.кр <sup>°C</sup>	-0,7	9,1	4,8	1,6	0,3	7,2	4,1	1,2
t.чердака <sup>°C</sup>	-4,0	3,0	0,0	-2,0	-3,5	2,5	0,0	-2,5
t.внутр.покр.пом <sup>°C</sup>	18,2	17,6	19,4	17,2	16,6	16,8	17,3	17,5
t.помещения <sup>°C</sup>	22,3	21,6	21,9	22,3	22,3	22,5	22,1	22,8
Скорость м/с	Скорость ветра v= 3 м/с				Скорость ветра v= 3 м/с			
t.нар.воздуха <sup>°C</sup>	-0,5	7,5	2,5	-0,5	-0,5	7,5	2,5	-0,5
t.внешн.покр.кр <sup>°C</sup>	0,2	11,6	2,6	-0,4	1,1	9,1	3,3	0,9
t.внутр.покр.кр <sup>°C</sup>	-0,2	8,9	4,4	1,4	0,6	7	3,6	1,2
t.чердака <sup>°C</sup>	-3,5	3,0	0,0	-2,0	-3,5	2,5	-0,5	-2,5
t.внутр.покр.пом <sup>°C</sup>	17,5	16,3	17,6	17,3	17,2	16,6	17,7	17,2
t.помещения <sup>°C</sup>	22,1	22	22,1	21,8	22,6	22,4	21,8	22,5
Скорость м/с	Скорость ветра v= 4 м/с				Скорость ветра v= 4 м/с			
t.нар.воздуха <sup>°C</sup>	0,0	7,0	2,0	-0,5	0,0	7,0	2,0	-0,5
t.внешн.покр.кр <sup>°C</sup>	0,3	11,2	2,3	-0,4	1,0	9,0	3,1	0,8
t.внутр.покр.кр <sup>°C</sup>	0,0	8,6	4,0	1,4	0,6	6,9	3,4	1,1
t.чердака <sup>°C</sup>	-3,0	3,0	-0,5	-2,5	-3,0	2,5	-1,0	-3,0
t.внутр.покр.пом <sup>°C</sup>	17,3	17,9	17,6	17,9	16,9	16,6	17,1	17,3
t.помещения <sup>°C</sup>	22,2	22,0	22,6	22,3	22,3	22,1	21,7	22,6

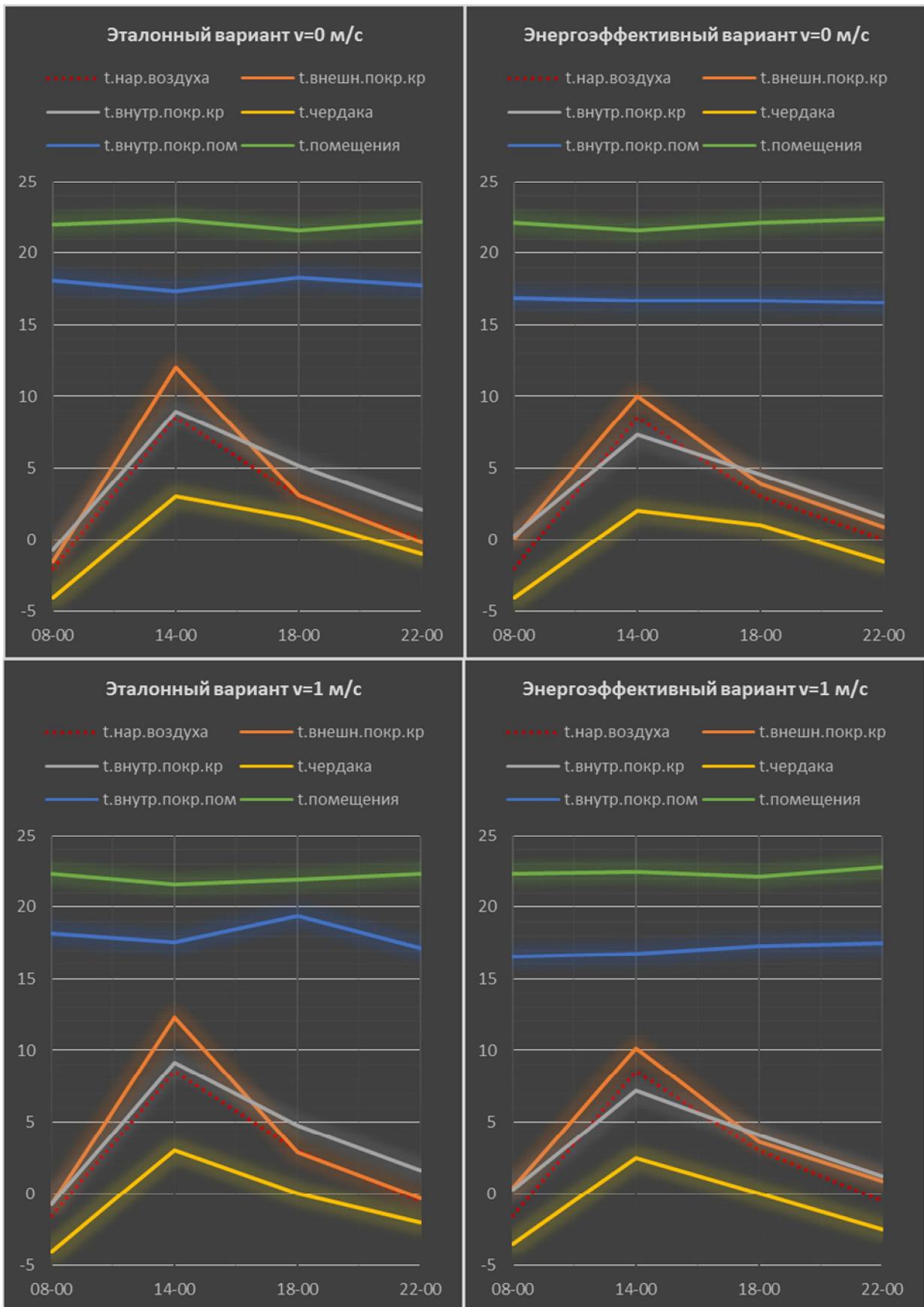


Рис.3.10. Измерение температур поверхностей ограждения в зависимости от скорости ветра за 14 февраля 2016 года.

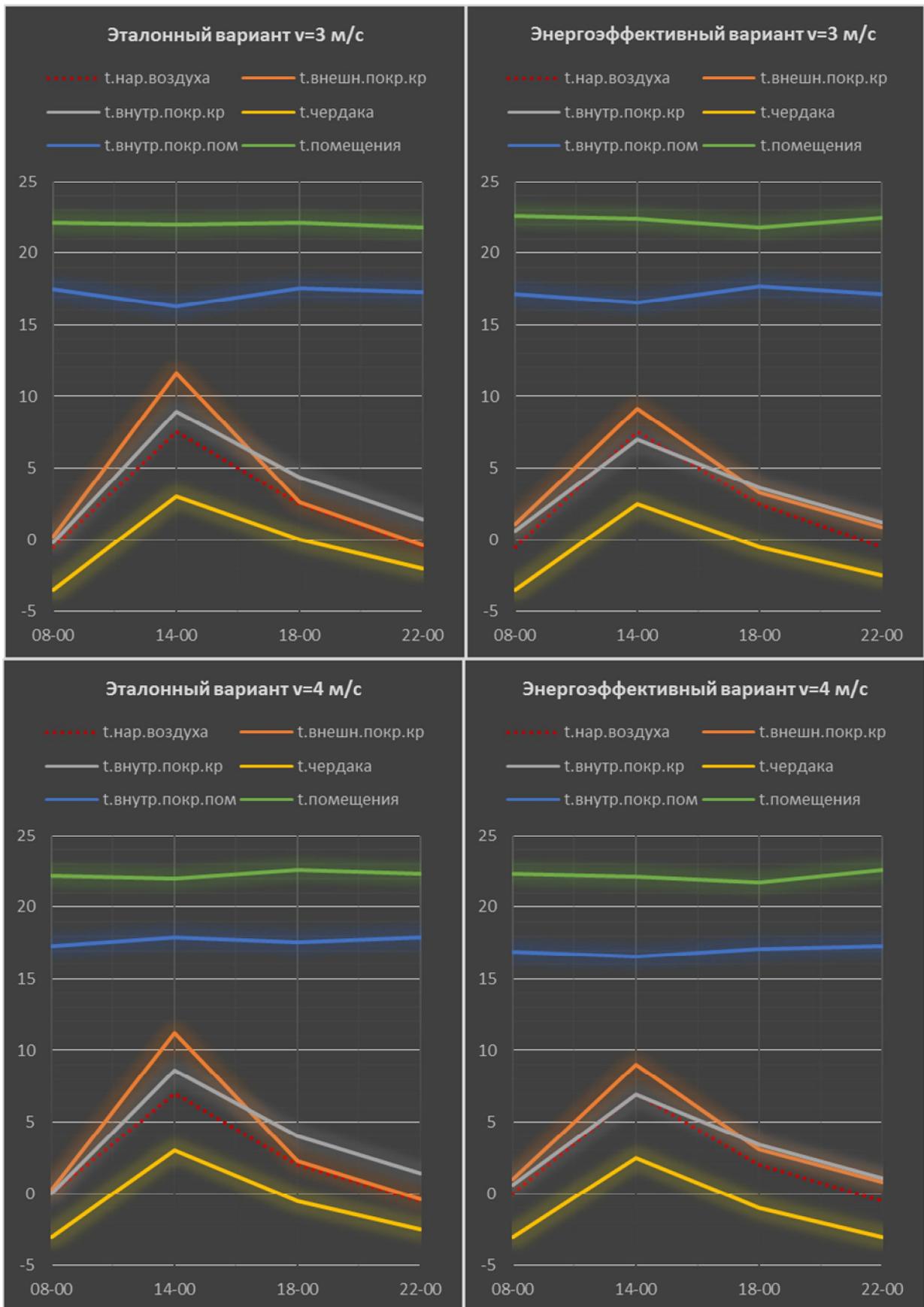


Рис.3.10(продолжение). Измерение температур поверхностей ограждения в зависимости от скорости ветра за 14 февраля 2016 года.

Как следует из (рис. 3.5) наружная поверхность крыши под воздействием высокой температуры наружного воздуха и значительной интенсивности солнечной радиации в эталонном варианте нагревалась до  $65^{\circ}\text{C}$ , а в варианте с применением материала с повышенной отражающей способностью - до  $49^{\circ}\text{C}$ . Вследствие этого и температура нагрева внутренней поверхности кровельной плиты в предлагаемом варианте оказалась на  $(5 - 7)^{\circ}\text{C}$  ниже во временном интервале 14-00 – 16-00 часов. Такая же тенденция наблюдалась и для температуры на внутренней поверхности плиты перекрытия. Температура внутреннего воздуха макета с предлагаемым вариантом покрытия также оказалась ниже на  $(1,2 - 1,7)^{\circ}\text{C}$ .

Как следует из (рис. 3.10) температура чердачного пространства в предлагаемом варианте остаётся выше типового варианта с разницей на  $6 - 7^{\circ}\text{C}$ , что благоприятно сказывается на уменьшении потерь тепла верхних этажей здания, а также разница между наружным воздухом и чердачным вентилируемым пространством под кровлей не превышает  $2^{\circ}\text{C}$ , тем самым не позволяя образовываться наледи.

Также была произведена численная реализация программы расчёта температурно-влажностного режима чердачного помещения с учётом нестационарного продуха, пассивного охлаждения и учёта варьируемой излучательной способности ограждающих конструкций с использованием специальных покрытий, разработанной Щипачевой Е.В. и Рахимовой Н.Б. Полученные результаты воздействия покрытия с отражательной способностью  $\varepsilon=0.92$  и скоростью ветра  $v=1$  м/с на температурный режим чердачного пространства для эталонного варианта представлены на рис.3.11, для энергоэффективного варианта с отражательной способностью  $\varepsilon=0.32$  и скоростью ветра  $v=1$  м/с на рис.3.12. Результаты компьютерного моделирования были сравнены с результатами натурных измерений в летний период при наружной температуре  $T_{\text{н}} > 30^{\circ}\text{C}$  и представлены на рис.3.13.

Тн_оС	Тсhrk_оС	Pв_Па	PI_Па	Qисп_кДж	W_кг/с	Teta_оС	Ткомн_оС
30.	23.7	1974.6	2978.3	.5	.000	22.7	19.1
31.	24.4	1974.6	3119.6	.5	.000	23.2	19.6
32.	25.2	1974.6	3264.2	.6	.001	23.7	20.1
33.	25.9	1974.6	3412.0	.6	.001	24.2	20.3
34.	26.6	1974.6	3563.2	.6	.001	24.8	20.8
35.	27.3	1974.6	3717.7	.6	.001	25.3	21.4
36.	28.1	1974.6	3875.4	.7	.001	25.8	21.9
37.	28.8	1974.6	4036.5	.7	.001	26.3	22.4
38.	29.5	1974.6	4200.9	.7	.001	26.8	22.9
39.	30.2	1974.6	4368.6	.8	.001	27.3	23.4
40.	30.9	1974.6	4539.6	.8	.001	27.9	23.9
41.	31.7	1974.6	4713.9	.8	.001	28.4	24.4
42.	32.4	1974.6	4891.5	.8	.001	28.9	24.9
43.	33.1	1974.6	5072.5	.9	.001	29.4	25.4
44.	33.8	1974.6	5256.9	.9	.001	29.9	25.9
45.	34.6	1974.6	5444.6	1.0	.001	30.5	26.4

Обозначения:

Тн – наружная температура воздуха

Тсhrk – температура ЧП с использованием покрытия ОК

Pв – давление водяных паров насыщенного воздуха

PI – парциальное давление водяных паров при заданных температуре и относительной влажности воздуха 60%

Qисп – кол-во теплоты, расходуемое на процесс испарения

W – интенсивность испарения

Teta – усредненная равновесная температура в системе <вода-воздух>

Ткомн – комнатная температура верхнего этажа здания

Примечание: ЧП – чердачное помещение

ОК – ограждающие конструкции

Рис.3.11. Результат воздействия покрытия с отражательной способностью  $\varepsilon=0.92$  для эталонного варианта

Tn_оС	Tchpk_оС	Pв_Па	PL_Па	Qисп_кДж	W_кз/с	Teta_оС	Tкомн_оС
30.	23.5	1974.6	2927.3	.5	.000	22.5	18.7
31.	24.2	1974.6	3065.9	.5	.000	23.0	19.1
32.	24.9	1974.6	3207.6	.6	.001	23.5	19.6
33.	25.6	1974.6	3352.5	.6	.001	24.0	20.1
34.	26.3	1974.6	3500.7	.6	.001	24.5	20.3
35.	27.0	1974.6	3652.1	.6	.001	25.1	20.8
36.	27.7	1974.6	3806.8	.7	.001	25.6	21.3
37.	28.5	1974.6	3964.6	.7	.001	26.1	21.8
38.	29.2	1974.6	4125.8	.7	.001	26.6	22.3
39.	29.9	1974.6	4290.1	.7	.001	27.1	22.8
40.	30.6	1974.6	4457.8	.8	.001	27.6	23.3
41.	31.3	1974.6	4628.7	.8	.001	28.1	23.8
42.	32.0	1974.6	4802.8	.8	.001	28.6	24.3
43.	32.8	1974.6	4980.3	.9	.001	29.2	24.8
44.	33.5	1974.6	5161.1	.9	.001	29.7	25.3
45.	34.2	1974.6	5345.1	.9	.001	30.2	25.7

Обозначения: Tн - наружная температура воздуха

Tchpk - температура ЧП с использованием покрытия ОК

Pв - давление водяных паров насыщенного воздуха

PL - парциальное давление водяных паров при заданных температуре и относительной влажности воздуха 60%

Qисп - кол-во теплоты, расходуемое на процесс испарения

W - интенсивность испарения

Teta - усредненная равновесная температура в системе <вода-воздух>

Tкомн - комнатная температура верхнего этажа здания

Примечание: ЧП - чердачное помещение

ОК - ограждающие конструкции

Рис.3.12. Результат воздействия покрытия с отражательной способностью  $\epsilon=0.32$  для энергоэффективного варианта

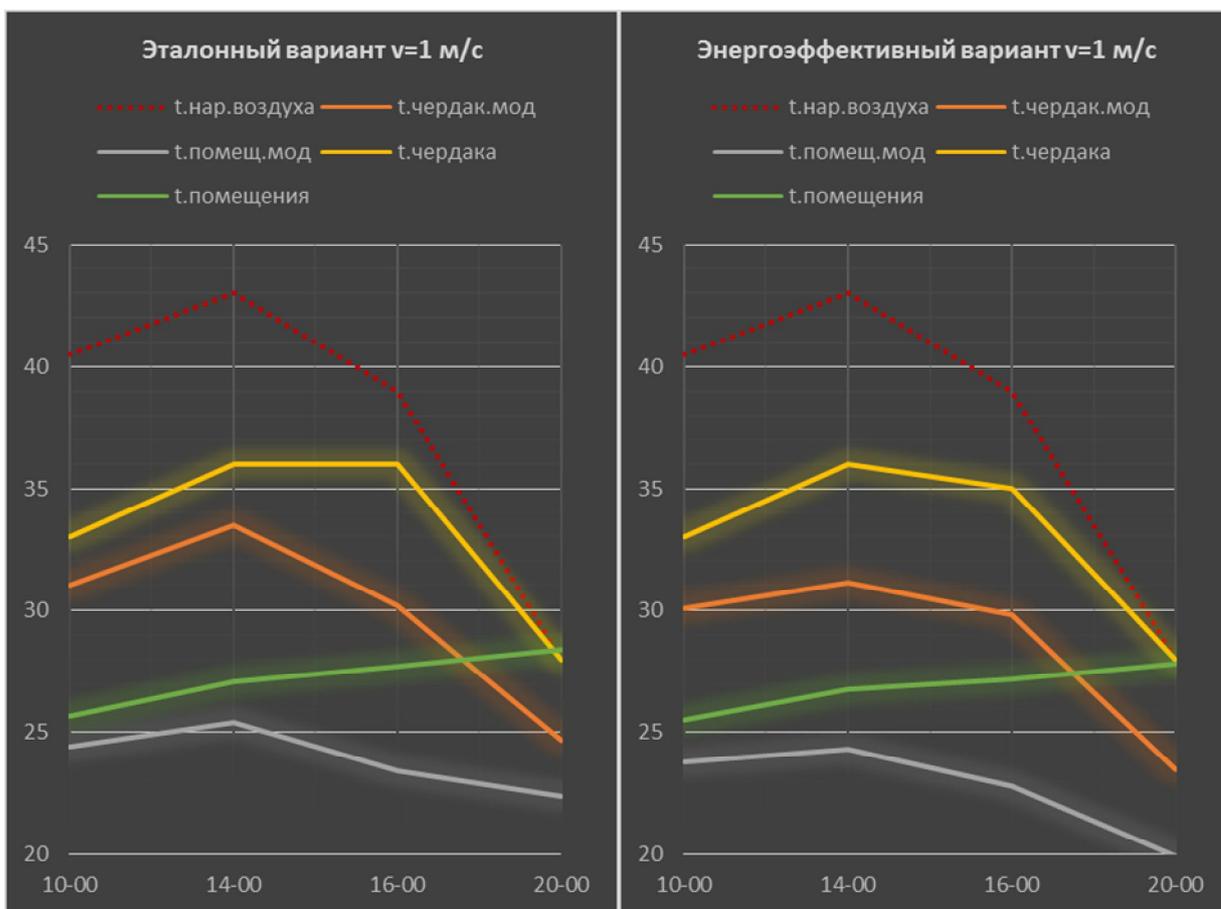


Рис.3.13. Сравнение компьютерного моделирования с результатами натуральных измерений при наружной температуре  $T_H > 30 \text{ }^\circ\text{C}$

Как видно из рис.3.13 разница между результатами численной реализации с результатами натуральных наблюдений не превышает  $2\text{-}3 \text{ }^\circ\text{C}$ . В вечернее время результаты различаются на  $6\text{-}7 \text{ }^\circ\text{C}$ , это обусловлено тем что с падением наружной температуры конструкция начинает интенсивно передавать накопившееся тепло за целый день с кровли в чердачное пространство тем самым нагревая его и помещение верхнего этажа здания, что не учитывается в расчётной программе.

Полученные результаты натурального модельного эксперимента подтвердили теоретические данные. Следовательно, для уменьшения негативного влияния солнечной радиации целесообразно усовершенствовать конструкцию вентилируемого совмещенного покрытия путем применения кровельного материала с высокой отражательной способностью, разделения вентилируемого пространства на две части по вертикали и ориентации продухов по направлению господствующего ветра.

### 3.3. Совершенствование конструктивного решения чердачной крыши.

Выполненные теоретические исследования позволили установить, что одним из приемов, позволяющих снизить чрезмерный перегрев помещений верхних этажей жилых зданий, является использование покрытий кровли материалами с высокой отражательной способностью. Кроме того, было установлено, что определенное положительное влияние может оказать и разделение вентилируемого пространства покрытия по вертикали на две части. Правда, наиболее эффективно такое разделение для условий зимней эксплуатации, с точки зрения обеспечения отсутствия наледи на крыше. Еще одним фактором, влияющим на работу покрытия, является ветер. От направления ветра и его скорости во многом зависит температура в вентилируемом пространстве покрытия.

Разрабатываемая конструкция чердачной крыши должна была решить основную задачу:

- повышение теплозащитных свойств крыши в жаркий период года и тем самым уменьшение энергозатрат на кондиционирование воздуха для создания благоприятного микроклимата помещений верхних этажей здания.

Решить поставленную задачу позволяет разделение чердачного пространства на две части (воздушные прослойки), теплоизолированные друг от друга и вентилируемые наружным воздухом; нанесение на кровельный ковер слоя с высокой отражательной способностью (например, битумно-полимерный кровельный материал “Poliizol” , либо однокомпонентное теплоотражающее покрытие на водной основе с керамическим наполнителем SUPER THERM®[48] толщиной 0,25 мм).

Помещения верхних этажей зданий подвергаются значительным температурным воздействиям со стороны не только стеновых наружных ограждений, но и со стороны чердачного перекрытия. В связи с чем, для создания благоприятного микроклимата этих помещений требуется большой

расход электрической энергии на кондиционирование в летний период.

Чтобы исключить причины негативного воздействия на микроклимат помещений верхнего этажа здания предлагается конструктивное решение крыши, представленное на (рис.3.14).

Чердачное пространство разделяется на две части. Причем нижняя воздушная прослойка 1 высотой 1,8 – 2,1 м интенсивно вентилируется в летнее время путем устройства проемов–продухов 2 в стенах чердачного пространства 3, ориентированных перпендикулярно направлению господствующего июльского ветра 4 для данного района строительства. Снизу чердачное пространство ограничено железобетонной многопустотной плитой перекрытия 6, с нанесенной на нее цементно-песчаной стяжкой 7, пароизоляцией 8, утеплителем 9 и цементно-песчаной стяжкой 10.

Верхняя воздушная прослойка 11 толщиной 200 мм находится в режиме постоянного проветривания и образуется путем применения железобетонной кровельной панели 12и эластичной мембраны 15 толщиной 10-15мм, защищенной слоем теплоизоляции, препятствующемперетоку тепла между нижней воздушной прослойкой 1 и прослойкой 11.Это позволяет в летнее время снизить тепловое воздействие нагретого кровельного ковра 13 на температуру чердачного пространства (нижней воздушной прослойки 1).

Для снижения радиационного нагрева кровли в летнее время предусматривается покрытие кровельного ковра 13 слоем с высокой отражательной способностью 14, позволяющего снизить температуру кровельной панели на 15 – 22<sup>0</sup>С по сравнению с температурой незащищенного кровельного ковра.

Применение предлагаемой конструкции крыши позволит сократить расход электрической энергии на 7 – 12%.

Кроме того, предлагаемая конструкция крыши позволит исключить образование наледи на крыше здания в зимний период времени, так как наличие верхнего (подкровельного) продуха, отделенного от основного продуха утеплителем, обеспечивает температуру кровельного ковра близкой к

температуре наружного воздуха.

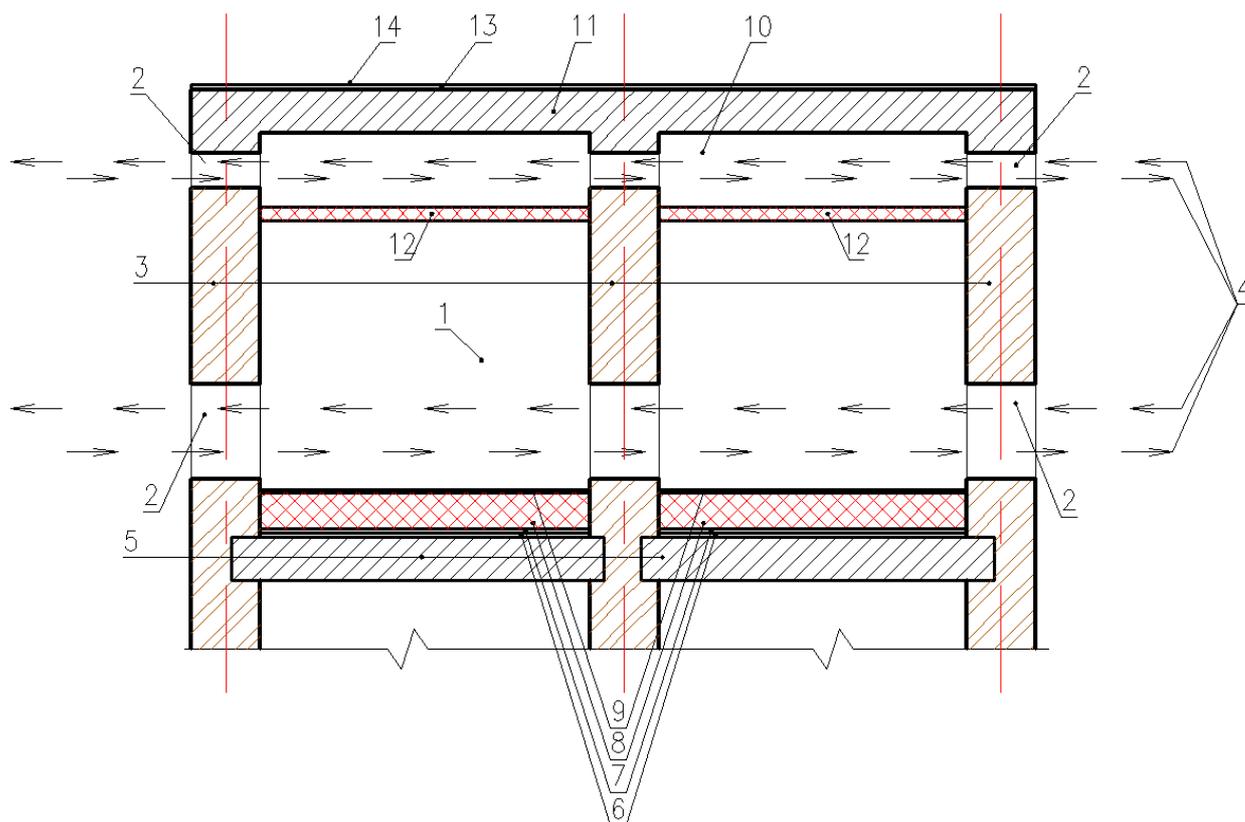


Рис.3.14 Конструкция крыши здания

### 3.4. Выводы по главе

1. Получена математическая зависимость температуры воздуха в подкровельном продухе крыши в зависимости от температуры наружного воздуха, температуры воздуха чердачного пространства, высоты продуха и параметров проемов в стенах чердачного пространства.

2. Получено математическое выражение для определения термического сопротивления конструкции покрытия с учетом нанесенного слоя с высокой отражательной способностью.

3. Произведена количественная оценка распределения внутренней температуры чердачного помещения, как функции температуры наружного воздуха при различной отражательной способности кровельного ковра, которая показала, что снижение излучательной способности ограждающих конструкций

при температурах наружного воздуха  $t_{нв} > 35^{\circ}\text{C}$  позволяет понизить внутреннюю температуру чердачного помещения на 10-15%.

4. Натурным модельным экспериментом доказана адекватность полученных математических моделей. Расхождение теоретических и экспериментальных данных составило менее 16%.

5. Разработана конструкция крыши, повышающая теплозащитные свойства в жаркий период года, способствующая уменьшению энергозатрат на кондиционирование воздуха и созданию благоприятного микроклимата помещений верхних этажей здания, а также позволяющая исключить образование наледи на крыше здания в зимний период времени.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлена возможность улучшения микроклимата помещений верхнего этажа эксплуатируемых в условиях Республики Узбекистан гражданских зданий за счёт совершенствования конструкции покрытия, путем разделения чердачного пространства на две части(воздушные прослойки) теплоизолированные друг от друга и вентилируемые наружным воздухом, а также нанесение на кровельный ковер слоя с высокой отражательной способностью.

2. Выявлены закономерности формирования температурного режима чердачного пространства под воздействием климатических факторов и внутренней среды помещений верхнего этажа.

3. Предложены математические модели, описывающие закономерности формирования температурного режима в подкровельном пространстве крыши и термического сопротивления покрытия со слоем с высокой отражательной способностью.

4. Разработана конструкция крыши, повышающая теплозащитные свойства в жаркий период года, способствующая уменьшению энергозатрат на кондиционирование воздуха и созданию благоприятного микроклимата помещений верхних этажей здания, а также позволяющая исключить образование наледи на крыше здания в зимний период времени.

5. Предлагаемая конструкция крыши позволит сократить расход электрической энергии на 7 – 12%.

## Библиографический список

1. Азизов П., Солдатов Е.А. Архитектурно-строительные средства повышения тепловой эффективности гражданских зданий. – Ташкент.: Узбекистан, - 1994. – 328 с.
2. Архитектура/ Под ред. Б.Я. Орловского, – М.: Высшая школа,- 1984.- 415с
3. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1973. – 366 с.
4. Воронина В.Л. Опыт проектирования зданий в странах тропического климата. – М.: Стройиздат, 1966.- 324с.
5. Горомосов М.С., Лицкевич В.К. Строительные санитарно-гигиенические нормативы жилища. – М.: Стройиздат, 1975. – 48с.
6. Гамбург П. Ю. Учет тепла, вносимого солнечной радиацией. – М.: Стройиздат, 1951.- 296с.
7. Евсеев Л.Д. Внутренние и наружное утепление строительных ограждающих конструкции// Строительные материалы, оборудование, технологии XII века – Москва, 2006. - №10.- С. 66-67.
8. Каримов И.А. Мировой финансово-экономический кризис, пути и меры по его преодолению в условиях Узбекистана – Ташкент.: Узбекистан, 2009.- 48с.
9. Кириллов Т.В. О влиянии орошения на радиационные характеристики деятельной поверхности// Труды ГТО. - 1952.- №37.-С. 18-25.
10. КМК 2.01.01-94 Климатические и физико-геологические данные для проектирования. - Ташкент: Госкомархитектстрой, 1994. – 27 с.
11. КМК 2.01.04-97 Строительная теплотехника. - Ташкент: Госкомархитектстрой, 1997. – 74 с.
12. Кузнецова Н.В. Проектирование крыш многоэтажных жилых зданий. – Тамбов.: Тамбгостехиздат, 2007.-380 с.
13. Маракаев Р.Ю. Проектирование теплозащиты зданий с учетом экономических оценок в условиях Узбекистана. – Ташкент: Фан, 1981.- 176с.

14. Математические рекомендации по планированию эксперимента в технологии стройматериалов/ Урал НИИИстромпроект. - Челябинск, 1973. – 40 с.
15. Математические рекомендации по планированию эксперимента в технологии стройматериалов/ Урал НИИИстромпроект. - Челябинск, 1976. – 41 с.
16. Миранов С.А. Мероприятия по совершенствованию содержания кровель московских зданий// Энергосбережение.- 2004.-№3.- С. 8-12.
17. Минчук В.И., Солдатов Е.А. Сравнительная оценка теплоступлений в охлаждаемые помещения через стены и окна// Строительство и архитектура Узбекистана.- 1963.- № 3.- С. 5-14.
18. Пособие по проектированию ограждающих конструкций зданий. - М.: Стройиздат, 1979.- 51с.
19. Поваляев М.И. Покрытия кровли промышленных зданий. М.: Стройиздат, 1969.- 182с.
20. СанПиН РУз №0146-04 Санитарные правила и нормы проектирования жилых домов в климатических условиях Узбекистана.- Ташкент.- 2004.- 35с.
21. Суханов И.С. Лучистая энергия солнца и архитектура. – Ташкент: «Фан», 1973. – 224 с.
22. Таиров В.Д., Вольвич Н.И., Медведев М.И. Совмещенные покрытия. – Киев.- 1961.- 175с.
23. Умняков П.Н. Теплотехнические свойства навесных легких конструкций. - М.: Стройиздат, 1970.- 205с.
24. Фирсанов В.М. Архитектура гражданских зданий в условиях жаркого климата. -М.: Стройиздат, 1982.- 560с.
25. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий.- М.: Стройиздат, 1973.- 324с.
26. Шевцов К.К. Проектирование зданий для районов с особыми природно-климатическими условиями. – М.: Высшая школа, 1986.- 123с.
27. Щипачева Е.В., Саркисян Т.А. Проектирование генеральных планов гражданских и промышленных зданий/ Учебное пособие -Ташкент, ТашИИТ, 2007.- 196 с.

28. Щипачева Е.В., Проектирование энергоэффективных гражданских зданий в условиях сухого жаркого климата/ Учебное пособие -Ташкент, ТашИИТ, 2008. – 143 с.
29. Чуев В.Е. Изменение климата и его влияние на природно-ресурсный потенциал Республики Узбекистан. – Ташкент, 2000г.
30. Ветошкин С.И. Гигиенические основы проектирования и строительства жилищ в условиях жаркого и сухого климата Средней Азии. - Ташкент: Медгиз, 1954г.
31. Теплотехнические качества и микроклимат крупнопанельных жилых зданий./под. ред. Семеновой Е.И. - М.: Стройиздат, 1974г.
32. Заривайская Х.А., Таций Е.А., Фтокарев Е., Ферт А.Р. и др. Гигиенические качества современных жилых домов. – М.:Стройиздат, 1975г.
33. Дмитриев В.М. Вопросы использования архитектуры узбекского народного жилища в современной практике. - Ташкент: Фан, 1980г.
34. Щипачева Е.В., Рахимова Н.Б. Физическое воздействие наружной среды на формирование температурного режима чердачных помещений зданий /Материалы Республиканской научно-техн. конференции «Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте» ( 5-6 декабря 2014 г.).
35. Щипачева Е.В., Рахимова Н.Б. О формировании температурного режима чердачного помещения здания/ Вестник ТашИИТ, 2014, №4
36. Богословский В.Н. Строительная теплофизика // Авок Северо-Запад, 2006. С. 293-301.
37. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. – М.: Энергия, 1977. – 341с.
38. Щипачева Е.В., Рахимова Н.Б. Использование естественного ветрового потока для оптимизации температуры чердачного помещения гражданских зданий // СамГАСИ
39. Титъенс О., Прандтль Л. Гидро- и аэромеханика. — М.-Л.: ГТТИ, Т. 1., 1933. – 224 с.
40. Богословский В. Н. Тепловой режим здания. – М.: Стройиздат, 1979.

41. Табунщиков Ю. А., Климовицкий М. С. Расчет теплового режима помещения при раздельном учете конвективной и лучистой составляющих теплообмена //Сборник трудов НИИСФ «Тепловой режим и долговечность зданий», 1987. – С. 16-25.

42. Гагарин В.Г., Дмитриев К.А. Учет теплотехнических неоднородностей при оценке теплозащиты ограждающих конструкций в России и европейских странах //Строительные материалы. 2013. № 6. С. 14—16.

43. Левин Е.В., Окунев А.Ю., Умнякова Н.П., Шубин И.Л. Основы современной строительной термографии. М.: НИИСФ РААСН. 2012. 176с.

44.Гагарин В. Г., Козлов В. В. и др. Теплозащита наружных стен зданий с облицовкой из кирпичной кладки // АВОК. 2009. № 6. С.48-55.

45.Ройфе В.С. К обоснованию выбора неразрушающе-го метода оценки теплозащитных свойств строительных материалов. // Строительные материалы. 2013. № 6. С.22-23.

46.Ройфе В.С. Экспресс-методика комплексного неразрушающего контроля теплотехнического состояния ограждающих конструкций зданий // Жилищное строительство. 2011. № 1. С. 24—26.

47. Патент РФ 2497106. Способ перазрушающего контроля теплотехнических качеств ограждающих конструкций зданий / В.С. Ройфе; Заявл. 22.05.2012. Оиубл. 27.10.2013. Бюл. № 30.

48. <http://spvcoatings.ru/catalog/products/super-therm>

49. [www.paroc.ru](http://www.paroc.ru)

50. [www.rockwool.ru](http://www.rockwool.ru)

51. [www.crovlya.com](http://www.crovlya.com)

52. [www.abok.ru](http://www.abok.ru)