

Энергосберегающие технологии при строительстве зданий и сооружений на территории Крайнего Севера

Берсенева М.Л.,¹ [0000-0002-9831-7019], Васильовская Г.В.² [0000-0002-1411-0054], Данченко Т.В.¹ [0000-0002-8146-6608], Инжутов И.С.² [0000-0001-9939-6639], Амелчугов С.П.,¹ [0000-0002-9831-7019], Якшина А.А.² [0000-0003-3906-8021], Данилович Е.В.¹ [0000-0002-6701-9713]

^{1,2,3,4,5,6,7} Сибирский федеральный университет, 660041, Красноярский край, город Красноярск, проспект Свободный, 79, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены основные проблемы энергосбережения и особенности проектирования, строительства и эксплуатации жилых зданий и промышленных сооружений в экстремальных природно-климатических условиях северных территорий. Проведен анализ воздействия многолетней мерзлоты, сезонного протаивания грунтов и низкой несущей способности талых грунтов на выбор способов обустройства городов и трубопроводов северных районов территории России. Проведена оценка влияния изменения климата и связанных с этим фактором природно-техногенных рисков в районах Крайнего Севера на разработку системы мер по обеспечению надежности объектов энергетики и вариантов экстренного реагирования при возникновении чрезвычайных ситуаций. Обозначены решения, позволяющие повысить энергосберегающие способности зданий и уменьшить материальные затраты при их эксплуатации. Рассмотрена необходимость использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергии.

Ключевые слова: энергосбережение, строительство, реконструкция, Крайний Север, теплоизоляция, вечная мерзлота

1. Введение

Освоение территорий Крайнего Севера является стратегической задачей для обеспечения развития национальной экономики и безопасности России.

Благодаря открытию и разработке на Севере запасов природных ресурсов, созданы крупные производственно-перерабатывающие промышленные комплексы, поддержание функционирования которых и строительство новых с развитой социальной инфраструктурой обеспечит основу экспортного потенциала России.

Наиболее остро при решении задач развития северных территорий России стоит вопрос энергосбережения. Ресурсное развитие северных регионов России остается экономической базой в обозримом будущем. Необходимым условием этого развития и успешного функционирования отраслей промышленной специализации является ускоренное развитие производственной базы, строительство промышленных и жилых объектов, обеспечивающих комплексное развитие территории и потребности населения Крайнего Севера [1,2].

Энергосбережение - это комплексное решение правовых, организационных, научных, производственных, технических и экономических задач, целью которых является рациональное использование и расходование теплоэнергетических ресурсов, снижающих бесполезную потерю энергии.

Дефицит основных энергоресурсов, возрастающая стоимость их добычи, а также глобальные экологические проблемы делают энергосбережение одной из приоритетных задач при развитии территорий Севера. От результатов решения этой задачи зависит дальнейшее экономическое развитие нашей страны и уровень жизни граждан.

Для перехода от вахтовых способов ведения деятельности и проживания в условиях Крайнего Севера к городам постоянного проживания необходимо строительство населенных пунктов, возможность которого требует всестороннего комплексного исследования [3-5].

Строительство в районах северной климатической зоны затрудняется характерными экстремальными климатическими условиями:

- отрицательные среднегодовые температуры;
- вечномерзлое состояние грунтов;
- полярные ночи;
- сильные ветры;
- снежные заносы.

Длительность отопительного сезона на северных территориях может достигать до 11-ти месяцев в году. Например, в Норильском промышленном районе длительность отопительного сезона составляет более трехсот дней [6].

Северные территории, по сумме среднесуточных отрицательных температур воздуха, подразделяют на следующие климатические зоны. Рис. 1

2. Материалы и методы

Задачи энергосбережения в условиях Севера можно распределить по нескольким, наиболее важным направлениям:

1. На стадии проектирования и планирования населённых пунктов принимать решения, обеспечивающие при эксплуатации снижение тепловыделения от зданий.
2. При строительстве использовать эффективную теплоизоляцию стен, крыш, полов и тепловых сетей.
3. Применять современные технологии и конструкции окон, снижающие теплопотери.
4. В системах вентиляции использовать конструкции, основанные на рекуперации тепловых потерь за счет воздухообмена в помещениях [7-8].

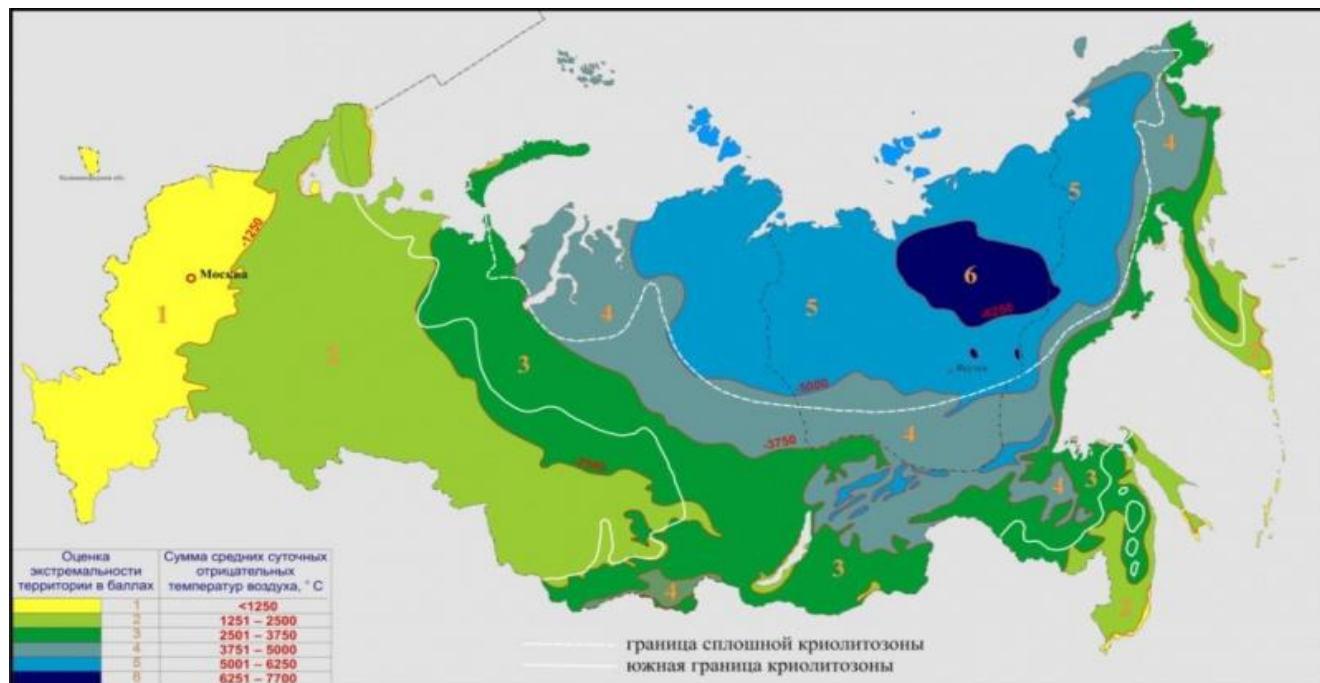


Рис.1 Карта районирования северных территории по сумме среднесуточных отрицательных температур воздуха.

С самого начала освоения северных территорий промышленные, жилые и административные здания строились по проектам, не учитывающим последующие затраты, возникающие при обслуживании построенных объектов, что привело к неоправданно высоким материальным потерям при эксплуатации этих объектов. Возникла необходимость создания проектов с внедрением энергосберегающих технологии, снижающих объем материальных вложений при строительстве и эксплуатации объектов. В современных условиях дальнейшее освоение и экономическое развитие Крайнего севера требует использование новых конструктивных идей и решений ещё на стадии проектирования объектов промышленного и гражданского назначения. Уменьшение материальных затрат при дальнейшей эксплуатации этих сооружений - одна из важнейших задач, которая должна быть поставлена при разработке проектной документации строительства в условиях Крайнего Севера [9-10].

За годы освоения и развития северных территорий в России накоплен большой опыт проектирования и планировки северных городов. Например, в Норильском промышленном районе Красноярского края для борьбы с ветром жилые кварталы построены очень компактно с узкими разрывами между домами. Благодаря такой планировке в жилых застройках значительно снизилась скорость ветра. Ровные крыши домов с простыми фасадными профилями уменьшают снежные заносы на домах. Для максимального снижения инфильтрации зданий в условиях сильных ветров при проектировании на наветренную сторону выносят лестничные клетки, кухни и т.д.

Вместе с экстремальными климатическими условиями Рис.2 строительство промышленных объектов и жилых зданий осложняет наличие многолетней мерзлоты и требует применения современных технологий, начиная с закладки фундамента. При строительстве объектов в условиях многолетней мерзлоты в России на сегодняшний день применяются два варианта возведения фундаментов: непосредственно на грунте и на сваях, когда для вентиляции мерзлой поверхности создается зазор между грунтом и основанием. Строительство домов на грунте, который постоянно меняет свою структуру, связано с большими трудностями. При эксплуатации здания нагревают мерзлый грунт, и он теряет монолитность. При этом методе закладке фундамента необходимо применение высококачественной теплоизоляции, предотвращающей оттаивание [11-13].

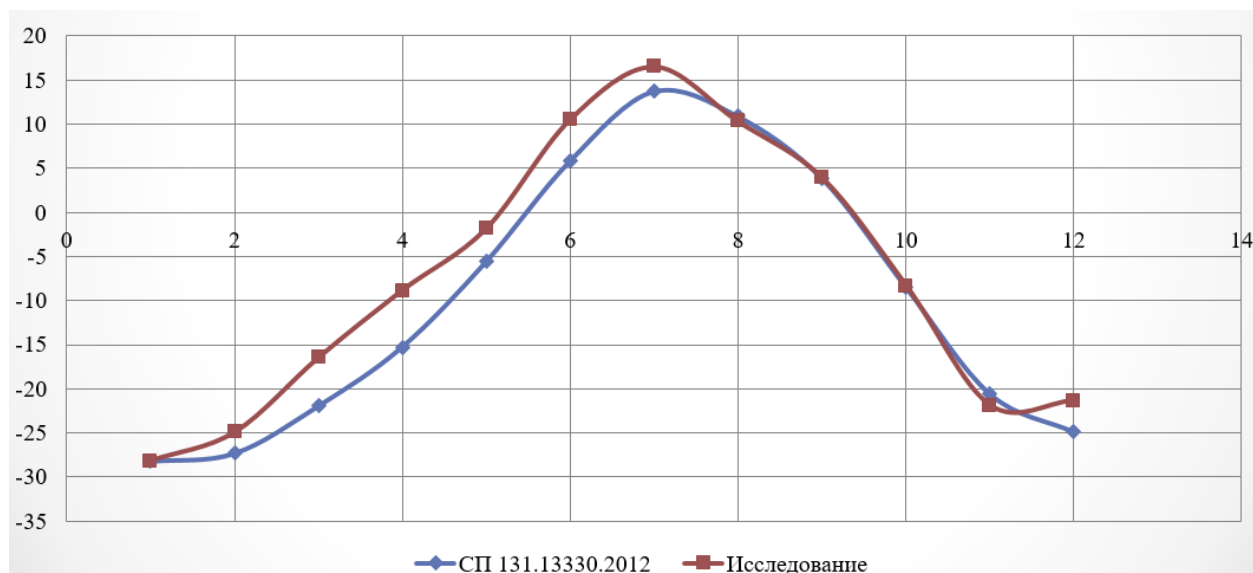


Рис. 2 Изменение температуры воздуха в г. Норильске

Наличие многолетней мерзлоты, сезонное протаивание грунта, низкая несущая способность талых грунтов и нестабильность самой мерзлоты, приводят к необходимости прокладывать все трубопроводы на поверхности грунта – на опорах или по эстакадам. Вследствие этого, трубопроводы проложенные таким способом подвергаются более сильному влиянию низких температур, чем при подземной прокладке. В зимний период года тепловые потери с поверхности труб значительно возрастают, и возникает угроза их замерзания. Чтобы уменьшить тепловые потери и риск замерзания трубопроводов необходимо применять теплоизоляцию труб, прокладывать водопроводы с тепловыми спутниками, возводить промежуточные котельные на водоводах. Применение и эксплуатация данных технологий требуют значительных материальных затрат, не обеспечивают полной гарантии безаварийной работы сетей и необходимого уровня энергосбережения. Проблема коммуникаций в условиях вечной мерзлоты - эффективная теплоизоляция. В отличие от небольших северных поселков, где коммуникации прокладывают поверху, в крупных городах, например в Норильске, все трубы уложены под землей на глубине 6 м. Для того, чтобы уберечь от тепла мерзлые грунты, трубы прокладываются на расстоянии от домов, что снижает опасность оттаивания грунта [14]. Для снижения теплопотерь трубопроводов при монтаже применяют теплоизоляцию из различных материалов, в зависимости от уровня их теплопроводности и условий их применения в виде специальных «скорлуп», также используют трубы с заводской изоляцией и при укладке изолируются только стыки. Таб. 1. Применение этих методов и способов приводит к увеличению энергосбережения при эксплуатации теплоцентралей.

Таблица 1 Сравнительная характеристика теплоизоляционных «скорлуп» из разных теплоизоляционных материалов.

материал	Плотность, (кг/м ³)	Теплопроводность, Вт/м ³	Толщина материала, (мм)
пенополиуретан	40-80	0,025	40
пенополимерол	15-50	0,038	40-150
минеральная вата	20-40	0,048	100

Большие возможности успешного решения задачи энергосбережения на территориях Крайнего Севера заложены в реконструкции и замене оборудования и трубопроводов, обеспечивающих теплоснабжение жилого фонда городов и посёлков. В настоящий момент теплоснабжение жилого фонда осуществляется в большинстве случаев по централизованному принципу. Теплоэнергетическое оборудование, подводящее тепло и воду к потребителям, трубопроводы давно выработали нормативный срок эксплуатации. По данным, проведённых в населённых пунктах Северных регионов экспертиз, износ этого оборудования достигает 60-70%. Происходят аварийные ситуации, которые приводят к тому, что при экстремально низких уличных температурах жилые сооружения и, даже целые кварталы, с тысячами проживающих в них людей, остаются без тепла. Для того чтобы снизить аварийность оборудования и уменьшить количество тепловых потерь необходимо активизировать модернизацию устаревшего оборудования и при замене отслуживших своё время трубопроводов использовать современную высокоэффективную теплоизоляцию.

3. Результаты

На территориях Крайнего Севера экономия энергии должна начинаться в процессе ее генерации. По современным международным параметрам широко распространенная в России тепловая энергетика считается низкоэффективной и к тому же она нередко оказывает губительное воздействие на окружающую среду.

Увеличение эффективности теплоэнергетического комплекса и уменьшение загрязнения окружающей среды обеспечит переход с потребления энергии, вырабатываемой невозобновляемыми источниками (газ, нефть, уголь), на широкое использование альтернативных видов энергетики (ветровая, энергия океана и т. д). Одновременно необходима разработка безотходной технологии использования нефтепродуктов, например, использования попутного нефтяного газа.

Одним из самых эффективных способов решения задач энергосбережения в районах Крайнего Севера является внедрение энергосберегающих материалов, технологий и устройств при строительстве новых объектов и при капитальном ремонте уже существующих. Для увеличения энергосберегающих качеств промышленных и жилых объектов в северных регионах при их дальнейшей эксплуатации, на стадии их строительства необходимо применять современные технологии и материалы для теплоизоляции фасадов и кровель. Многолетние наблюдения и исследования показали эффективность применения навесных вентилируемых фасадных систем. Эффективность этих технологий дает возможность применения их в новом строительстве и для утепления уже построенных зданий при их капитальном ремонте. Особым преимуществом данной технологии является возможность их монтажа независимо от времени года и погодных условий, в отличие от штукатурных систем, которые возможно применять только при плюсовых температурах [15-17].

Вентилируемые фасадные системы имеют конструкционный зазор между облицовкой и несущей стеной. Наличие вентилируемой воздушной прослойки сдвигает зону конденсации в наружный теплоизоляционный слой, способствуя увеличению теплоаккумулирующей способности массива стены Рис. 3

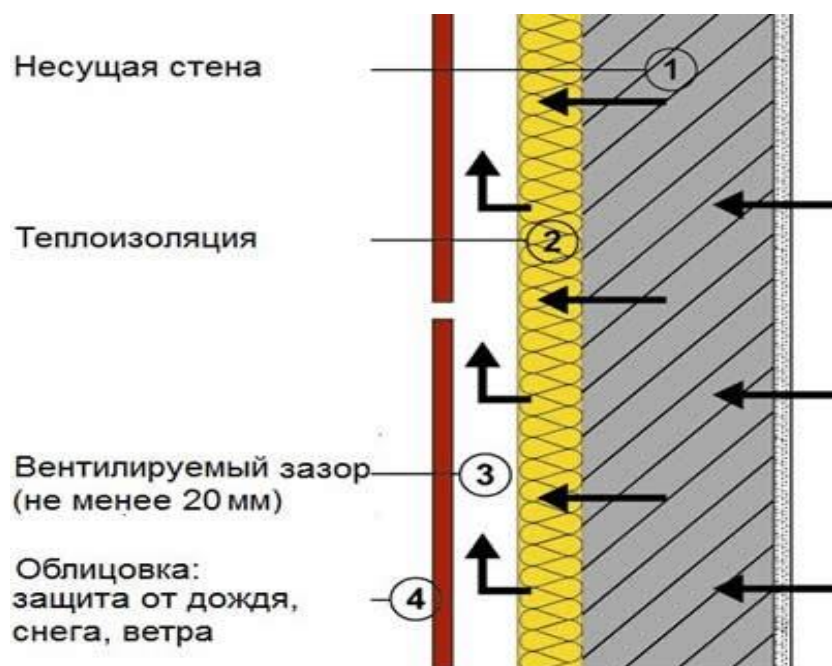


Рис. 3 Вентилируемые фасадные системы

Значение требуемого сопротивления паропрооницанию из условия ограничения влаги в наружной стеновой панели за период с отрицательными температурами сопротивления воздуха представлено в таблице 2.

Таблица 2 Значения требуемого сопротивления паропрооницанию $R_{п2гр}$ из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции в период с отрицательными среднемесячными температурами, м² ч·Па/мг

	(сухая зона влажности)		(нормальная зона влажности)		(влажная зона влажности)	
	треб.	факт.	треб.	факт.	треб.	факт.
Навесной вентилируемый фасад	3,47	5,34	2,62	5,34	2,08	5,36

Для промышленных сооружений эффективным решением будет применение при строительстве стеновых и кровельных сэндвич-панелей. Сэндвич-панели имеют оптимальное сочетание показателей соотношения теплотехнических характеристик с затратами на их производство и качеством исполнения. Конструкция и состав сэндвич-панелей позволяет оптимально распределить декоративную, теплозащитную, гидропароизоляционную и конструкционную функции между различными материалами [19]. Кроме того, благодаря возможности их всесезонного монтажа и сравнительно малому весу конструкций, доставка этих

строительных материалов в районы Крайнего Севера России требует намного меньше материальных затрат, чем более традиционных строительных материалов. Использование в качестве утеплителя каменной ваты при производстве сэндвич-панелей позволило многократно увеличить энергосберегающие качества данных строительных материалов. Многолетний опыт использования данных материалов и технологий в строительстве населенных пунктов на Крайнем севере, показал, что многослойные панели с эффективным теплоизоляционным материалом - это лучший метод для увеличения энергосберегающего эффекта при строительстве зданий. Чтобы обеспечить требуемую величину энергосбережения, необходимо при изготовлении данных строительных материалов для стен, крыш и полов применять теплоизоляцию с коэффициентом теплопроводности не выше, чем 0,04-0,07 Вт/(м²-К) [20].

Для дальнейшего увеличения энергосберегающих качеств данных строительных материалов при их изготовлении необходимо использовать современные теплоизоляционные материалы с улучшенными физико-механическими свойствами, которые увеличат срок эксплуатации и приведут к снижению расходов на их обслуживание и содержание. Поэтому, в настоящее время по сравнению с предшествующим периодом повышаются требования к теплоизоляционным материалам, применяемых при строительстве в условиях Крайнего севера. по показателям теплопроводности, пожарной безопасности, прочности при механическом воздействии и т.д. Сравнение основных характеристик физико-механических свойств современных теплоизоляционных материалов (ГОСТ 9573-2012) [21] в сравнении с ранее использованными материалами приведено в таблице 3.

Таблица 3 Сравнительная характеристика основных физико-механических свойств теплоизоляционных материалов

Физико-механические свойства	Технические условия	Единицы измерения	Современные материалы ГОСТ 9573-2012	Раннее используемые материалы ГОСТ 9573-96
Плотность		кг/м ³	90–110	75-125
Горючесть		степень	НГ	НГ (Г 1)
Теплопроводность	λ 10	Вт/(м К)	0,037	0,049
	λ 25		0,039	0,072
	λ А		0,044	-
	λ Б		0,047	-
Сжимаемость, не более		%	2	12
Предел прочности при растяжении, не менее		кПа	8	-

Эксплуатационные и энергосберегающие качества зданий определяются не только качеством отделки, физико-механических свойств теплоизоляционных материалов, их размерами, конструкциями и т.д. Важным фактором является уровень их защищенности от внешних неблагоприятных воздействий, таких как перепады температур, продолжительное воздействие отрицательных температур и атмосферных осадки. Поэтому, при строительстве объектов на Крайнем Севере особое внимание должно уделяться к теплозащитным свойствам ограждающих конструкций. Высокие скорости ветров требуют специальной защиты ограждающих конструкций от продуваемости. Необходим расчет распределения температур по толще ограждающих конструкций, в особенности на внутренней поверхности, с учетом воздухопроницаемости.

Для создания непрерывного теплового контура здания необходимо подобрать толщину утеплителя для всех конструкций, соответствующего данному условию:

$$R_{0,пр} \geq R_{0,норм}$$

Это позволит не допустить возникновения «мостиков холода», вызывающих точечное охлаждение поверхностей, в результате которого возможно образование конденсата.

Перспективным направлением в увеличении энергосбережения при эксплуатации зданий является теплоизоляция светопроводящих конструкций. Относительно высокая себестоимость топлива и электроэнергии в условиях Севера делают экономически рентабельным применение новых технологий активной теплозащиты зданий с использованием вакуумной теплоизоляции и возможность получения дополнительной энергии от солнечных лучей. Эти технологии позволяют снизить потери энергии в зданиях до 25%.

Теплозащитные характеристики окон также являются важным фактором энергосберегающих качеств зданий и сооружений. Общие теплопотери через светопрозрачные ограждающие конструкции сравнимы с теплопотерями через стены, несмотря на то, что площадь окон в общей структуре теплового контура здания гораздо меньше площади стен.

Теплоотдача оконных блоков должна соответствовать следующему условию:

$$R_{\text{ок}}^{\text{пр}} \geq R_{\text{ок}}^{\text{норм}}$$

Для северных территорий данному требованию могут соответствовать оконные конструкции с пятью и более камерами профиля, имеющими низко-эмиссионные стекла, камеры которого заполнены аргоном. Кроме этого при строительстве для снижения потерь тепла в зданиях и сооружениях, целесообразно устанавливать оконные блоки меньшей квадратуры. Так как продолжительность светового дня в Северных районах в зимний период, очень мала, на освещенность зданий это особо не повлияет, а уменьшение потери тепла, по оценкам специалистов, приведёт к снижению материальных затрат до полутора раз [22].

При устранении условий приводящих к нежелательному уровню инфильтрации, создается достаточно герметичная теплозащитная оболочка здания, при которой функционирование естественной вентиляции, происходящей за счет перепада уровня давления внутри и снаружи помещения, невозможно. Поэтому, при проектировании и строительстве промышленных и жилых объектов необходимо предусмотреть установку механической приточно - вытяжной вентиляции. Одной из разновидностей принудительной вентиляции является система с рекуперацией тепла вытяжного воздуха, которая позволяет значительно снизить энергозатраты на отопление [23-24].

Принцип действия рекуператора основан на использовании тепла выбрасываемого воздуха для подогрева подаваемого, путем принудительной механической подачи и вытяжки из помещения воздуха. Теплообмен происходит в теплообменных кассетах без смешивания потоков входящего и подаваемого воздуха.

Рис. 4

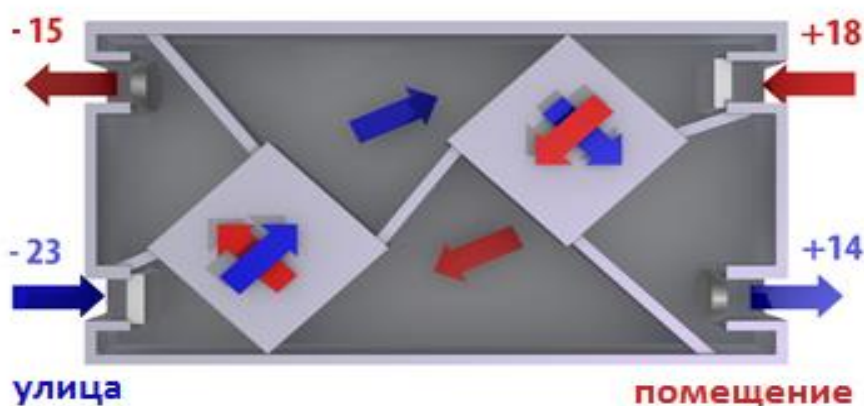


Рис. 4 Принцип действия вентиляции с рекуперацией тепла.

4. Дискуссии.

Анализ полученной информации показал, что надежность энергосбережения в экстремальных условиях северных территорий является одним из ключевых вопросов, решение которого позволит значительно улучшить качество жизни населения и повысить жизнеспособность этих регионов. Основными проблемами для северных территорий является износ энергетического оборудования, длительный период отопительного сезона, изолированная система энергоснабжения, низкая несущая способность грунтов, дорогостоящая доставка топлива.

Необходимым условием для повышения надёжности энергоснабжения, является принятие решений нацеленных на эффективное энергосбережение на стадии проектирования объектов и внедрение энергосберегающих материалов, применение и эксплуатация технологий для уменьшения тепловых потерь и снижения эксплуатационных рисков. Обеспечение регионов квалифицированными инженерными и рабочими кадрами. Вывод на качественно новый технологический уровень производства энергии на счёт модернизации энергетического оборудования. Увеличение объемов использования местных энергоресурсов и возобновляемых источников энергии для эффективного использования ресурсов и уменьшения загрязнения окружающей среды.

Выводы.

Достижение эффективного энергосбережения при освоении и развитии территорий Крайнего севера имеет огромное значение и является долгосрочной программой, в основе которой лежат инновационные проекты рационального и эффективного использования энергоресурсов, внедрение новых технологий и материалов в строительстве, модернизация устаревшего оборудования. Кроме того в этой программе нужно определить сопутствующие принципы и механизмы действия, необходимые для достижения поставленных целей и решения конкретных задач, такие как:

- обеспечение быстрого роста производства, путем внедрения достижений науки и новых технологий;
- развитие и поддержка действующих территориально-производственных комплексов и создание новых;
- развитие новых и поддержание существующих транспортных систем, обслуживающих основные грузоперевозки на Северные территории;
- дифференцированный подход к планированию развития северных территорий, исходя из особенностей транспортной обеспеченности и природно-климатических условий;
- необходимое социально-экономическое развитие северных территорий.

Следует отметить также, что при строительстве зданий и сооружений в арктической зоне Восточной Сибири возникают следующие наиболее характерные проблемы.

1. Проблемы изысканий

Грунтовые условия арктической зоны обладают широко неоднородным составом и требуют подробных гео-, крио- и гидрогеологических исследований. Изменение температурного состояния, а также ветровых, снеговых нагрузок вносит существенные корректировки в прогноз состояния многолетнемерзлой толщи.

2. Проблемы проектирования и строительства

Отсутствуют достоверные многолетние сведения об эффективности приемов замораживания и/или поддержания в замороженном состоянии грунтов под зданиями. Неподходящие для эксплуатации в условиях арктической зоны строительные смеси и материалы.

3. Проблемы эксплуатации

Непостоянное соблюдение требуемой эксплуатации является основой для дополнительных факторов изменения грунтовых условий в границах застройки.

Комбинирование существующих решений проблем теплоэффективности отдельно для каждой конкретной площадки является наиболее подходящим способом проведения строительства и реконструкции зданий и сооружений в условиях Крайнего Севера.

На сегодняшний день на территориях Севера проживающее население обладает адаптированным к жизни и работе в экстремальных условиях потенциалом, необходимой квалификацией инженерно-технических и трудовых кадров. Чтобы предотвратить отток населения и привлечь новые инвестиции для дальнейшего освоения богатых природными ископаемыми и энергетическими ресурсами территорий, необходимо создавать комфортные условия проживания.

При этом нужно во избежание негативных экологических последствий воздействия на суровую и в то же время хрупкую природу Крайнего Севера проводить тщательные предварительные исследования.

Рекомендации

1. Кравченко К. С. Особенности и принципы строительства энергоэффективных домов в условиях крайнего севера // Энергия науки: электронный сборник материалов VII Международной студенческой научно-практической интернет-конференции. 2017. С. 1093-1095.
2. Пиир А. Э., Козак О. А. Повышение тепловой эффективности жилых зданий в суровых климатических условиях // Повышение энергоэффективности объектов энергетики и систем теплоснабжения: материалы Всероссийской научно-технической конференции / Омский государственный университет путей сообщения. Омск, 2017. С. 108-115.
3. Овсянников С. И., Родионов А. С. Обоснование эффективных строений для Крайнего Севера // Вестник науки и образования северо-запада России. 2017. № 1. С. 107-114.
4. Корнилов Т. А., Герасимов Г. Н. О некоторых ошибках проектирования и строительства малоэтажных домов из легких стальных тонкостенных конструкций в условиях крайнего севера // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 3. С. 41-45.
5. Ivanov, V. Study of the aerodynamic regime of the cooling system of the foundations of buildings on the filling soil in the conditions of the Far North // MATEC Web of Conferences Volume 245, 5 December 2018, article number 10005
6. Подковыркина К.А., Подковыркин В.С., Назиров Р.А. Особенности проектирования зданий и сооружений в северных широтах с точки зрения строительной физики // Урбанистика 2017 № 4 С. 78-85.
7. Игнаткин И. Ю. Энергосбережение при отоплении в условиях Крайнего Севера // Вестник НГИЭИ. 2017. № 1 (68). С. 52-58.
8. Kornilov, T.a, Nikiforov, A.a, Mordovskoy, S.b, Danilov, N. On the Experience of Constructing A Vented Under-Floor Space with Heat-Insulated Fences under the Buildings of the Lightweight Steel-Framed Constructions on Permafrost Soils // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Volume 463, Issue 3, 31 December 2018, Номер статьи 032017
9. Arenson, L.U., Phillips, M. Living and building in permafrost regions(Article) // Geographische Rundschau Volume 70, Issue 11, November 2018, Pages 16-21.
10. Ханнанова Д. Р., Цомаев Н. Э. Материалы для изоляционных систем Севера // Актуальные вопросы науки и практики в XXI в.: материалы 4-й Международной научно-практической конференции. 2016. С. 55-57.
11. Vaganova, N.A. Simulation of thermal stabilization of bases under engineering structures in permafrost zone // AIP Conference Proceedings Volume 2048, 10 December 2018, article number 030010

12. Wang, T., Zhou, G., Chao, D., Yin, L. Influence of hydration heat on stochastic thermal regime of frozen soil foundation considering spatial variability of thermal parameters(Article)// Applied Thermal Engineering Volume 142, September 2018, Pages 1-9.
13. Kudryavtsev, S., Borisova, A. The research of the freezing and thawing process of the foundations with the use of season and cold-producing devices //MATEC Web of Conferences Volume 193, 20 August 2018, article number 03040
14. Markov, E.V., Pulnikov, S.A., Yu, S.S. Methodology for calculating the parameters of the thermal interaction between the pipeline and the soil(Article)// International Journal of Civil Engineering and Technology Volume 9, Issue 6, June 2018, Pages 1397-1403.
15. Барышников А. А., Мустафин Н. Ш., Шадрина А. А. Применение композиционных строительных материалов в условиях севера // Региональное развитие. 2015. № 8. С. 6.
16. Жиренков А. А. Основные требования к физико-механическим свойствам строительных тепло- и гидроизоляционных материалов при их эксплуатации в условиях севера России // Север России: стратегии и перспективы развития: материалы II Всероссийской научно-практической конференции. 2016. С. 87-90.
17. Подковырина К. А. Оптимизация наружных ограждающих конструкций с учетом энергосбережения и экономической целесообразности: дис. магистра: 08.04.01.04 / ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет». 2017. 104 с.
18. Сычёв С. А., Шевцов Д. С. Быстровозводимые высотные здания из модульных трансформируемых строительных систем повышенной заводской готовности в условиях крайнего севера // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 1 (60). С. 153-160.
19. Блюм А. Д., Лучкова В. И. Особенности развития малоэтажного строительства в районах крайнего севера России и приравненных к ним территорий // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. 2012. Т. 1. С. 15-19.
20. Кузнецов М. А., Субботин О. С. Основные принципы проектирования и строительства на Крайнем Севере // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сборник статей по материалам X Всероссийской конференции молодых ученых, посвященной 120-летию И. С. Косенко / Кубанский аграрный государственный университет им. И. Т. Трубилина. Отв. за вып. А. Г. Коцаев. Краснодар, 2017. С. 1087-1088.
21. ГОСТ 9573-2012 Плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем теплоизоляционные. Технические условия.
22. Смирнова С. Н. Реализация архитектурно-планировочных принципов проектирования энергоэффективного жилья в традиционном жилище севера России // Интернет-Вестник ВолгГАСУ. 2013. № 3 (28). С. 19.
23. Климанов С. Г. Быстровозводимые мобильные комплексы в экстремальных условиях крайнего Севера // Национальные приоритеты России. Серия 1: Наука и военная безопасность. 2015. № 2 (2). С. 55-61.
24. Затяева Е. К., Нестеров Д. И. Анализ природно-климатических условий при проектировании мобильного жилья для территории крайнего севера // Наука ЮУрГУ: материалы 67 научной конференции / Южно-Уральский государственный университет. 2015. С. 223-229.

