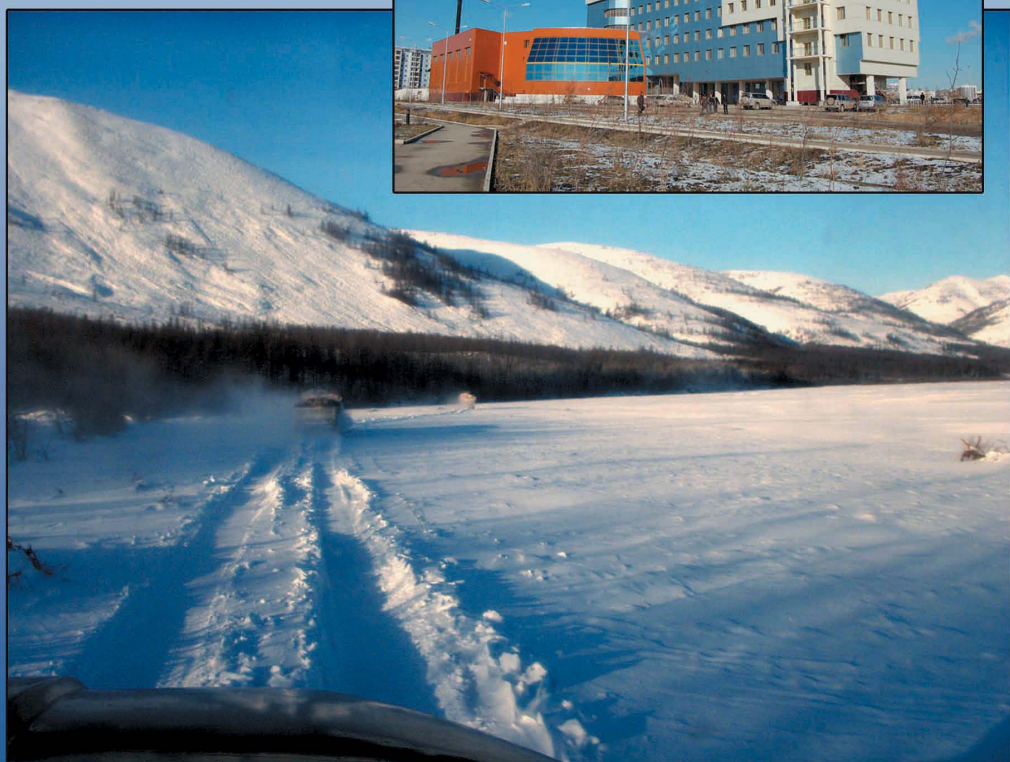


А.Е. Местников П.С. Абрамова
Т.С. Антипкина А.Д. Егорова

ТЕПЛОВАЯ ЗАЩИТА ЗДАНИЙ НА СЕВЕРЕ:

МАТЕРИАЛЫ, ИЗДЕЛИЯ И КОНСТРУКЦИИ



Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования Российской Федерации
Якутский государственный университет имени М.К. Аммосова

**А.Е. Местников, П.С. Абрамова,
Т.С. Антипкина, А.Д. Егорова**

**ТЕПЛОВАЯ ЗАЩИТА ЗДАНИЙ
НА СЕВЕРЕ: МАТЕРИАЛЫ,
ИЗДЕЛИЯ И КОНСТРУКЦИИ**



Издательство Ассоциации строительных вузов
Москва 2009

УДК 691(571.56)
ББК 38.3(2Рос. Яку)
Т34

Ответственный редактор
доктор технических наук **А.В. Степанов**

Рецензенты:
доктор технических наук **Ю.М. Баженов**
доктор технических наук **В.А. Прохоров**

Рекомендовано к печати научно-техническим советом АСВ

Тепловая защита зданий на Севере: материалы, изделия и конструкции / А.Е. Местников, П.С. Абрамова, Т.С. Антипкина, А.Д. Егорова; [отв. ред. д.т.н. А.В. Степанов]; Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования Российской Федерации, Якутский гос. ун-т им. М.К. Аммосова. – М.: Изд-во АСВ, 2009. – 236 с., ил.

Агентство СІР НБР Саха

ISBN 978-5-93093-690-2

Основу книги составляют результаты многолетних научных исследований (1970–2008 гг.), проведенных творческими коллективами Якутского государственного университета им. М.К. Аммосова, Якутского проектного и научно-исследовательского института строительства, Института физико-технических проблем Севера СО РАН, Московского государственного строительного университета, в области строительного материаловедения, строительства и эксплуатации жилых зданий в условиях северной строительно-климатической зоны России.

Предназначается для студентов, аспирантов и специалистов строительного профиля, а также широкого круга читателей.

Для писем и сообщений: 677000, ГСП, г. Якутск, ул. Белинского, 58, ЯГУ, ИТФ; т/ф. 8-(4112)-32-17-68, E-mail: mestnikovae@mail.ru.

УДК 691(571.56)
ББК 38.3(2Рос. Яку)

ISBN 978-5-93093-690-2

© А.Е. Местников и др., 2009
© ЯГУ, 2009
© Изд-во АСВ, 2009

ПРЕДИСЛОВИЕ

Вследствие отдаленности и обширности территорий, а также в силу экстремальных климатических условий и природного богатства с советских времен весь Север страны был экспериментальной строительной площадкой для отработки и испытания новых технологий строительства, строительной техники и технологического оборудования, прогрессивных строительных материалов и конструкций.

Разрозненные публикации и обсуждения результатов наиболее важных исследований в области строительного материаловедения, строительства и эксплуатации жилых зданий, построенных в условиях многолетней мерзлоты, в основном, в сборниках трудов региональных научно-практических конференций, не дают целостной картины состояния вопроса и не доводятся до специалистов различного уровня. Поэтому в данной книге авторы предприняли попытку объединить опыт, состояние и перспективы развития жилищного строительства с точки зрения энергоэффективности и долговечности строительных материалов и конструкций жилых зданий, эксплуатируемых в суровых условиях северной строительной-климатической зоны России.

ГЛАВА 1

СТРОИТЕЛЬСТВО НА СЕВЕРЕ

В освоении северных широт одним из решающих факторов является строительство зданий и сооружений, выполняющих основную задачу создания комфортных условий для проживания и деятельности людей в суровых климатических условиях (наличие вечной мерзлоты, большие перепады температур $-71...38^{\circ}\text{C}$, резкие суточные колебания температур $25-37^{\circ}\text{C}$, высокая интенсивность светового облучения $851,3-928,1\text{ Вт/м}^2$, сильные ветра до 50 м/с и др.).

Крайний Север и приравненные к нему районы занимают $2/3$ территории Российской Федерации и охватывают регионы общей площадью более $11,2\text{ млн км}^2$, в т.ч. в европейской части – $1,3$ и в азиатской – $9,9\text{ млн км}^2$.

Север России (далее Север) характеризуют следующие основные признаки: значительная удаленность от крупных промышленно развитых центров и обжитых районов (не менее $2500-3000\text{ км}$); слабая транспортная освоенность; низкая плотность населения; более высокие, чем в других районах страны, затраты общественного труда в отраслях материального производства; экстремальные природные условия, затрудняющие хозяйственное освоение; наличие разнообразных природных ресурсов. Производительные силы Севера характеризуются преимущественным развитием промышленности с преобладанием добывающих отраслей и постепенным развитием переработки в местах добычи сырья. К тому же из-за огромной протяженности территории Север, несмотря на имеющиеся общие черты, не представляет единого целого комплекса. Поэтому прежде чем приступить к изложению основного материала, рассмотрим историческое развитие северных территорий Российского государства.

Практический интерес представляют старинные и промышленно развитые северные города России, которые во все времена были оплотом, социально-экономическими и культурными центрами развития и укрепления государственности страны в целом.

1.1. ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Существует несколько принципов подхода к вопросу определения границ северной строительно-климатической зоны [1].

По районированию, принятому СНиП 2.01.01-82 [2], около 70% площади северной строительно-климатической зоны охватывается климатическими подрайонами IA, IB и IG, которые не включают почти весь Европейский Север, значительную часть Ямало-Ненецкого национального округа, весь Ханты-Мансийский национальный округ, часть Красноярского края. Перечисленные районы, обладающие более мягким климатом, входят в климатические подрайоны IB, а также PA и PB, включающие наряду с районами Северной зоны часть территории Урала, Поволжья, Волго-Вятского района и т.д. Зонирование СНиП 2.01.01-82 произведено по принципу различий в типах зданий и сооружений в зависимости от климатических факторов.

Проблемная лаборатория по изучению Севера при географическом факультете МГУ предложила инженерно-географическое районирование Севера. В его основу положен термоэнергетический показатель суровости климата на металл, металлоконструкции, машины и пр. Этот показатель определен на основании многолетних климатических данных (минимальная температура, скорость ветра, влажность, солнечная радиация) и нанесен на карту в виде индексов, комплексно оценивающих суровость климата в так называемых баллах суровости (от 3,2 до 11,7). Анализ механизма влияния основных компонентов на хладостойкость металла и связанных с этим поломок деталей машин в сопоставлении со значением суровости в баллах позволил выделить критическое значение индекса суровости для определения южной границы зоны Севера. Критерием его проведения принята изолиния в 4,6 балла (до 4,4 балла детали машин из стандартной стали работают нормально). До 5,5 балла суровости стандартная техника может быть использована для работы на Севере, но с некоторыми приспособлениями. Таким образом, поскольку территория Севера неоднородна в природном и экономическом отношении, возникла необходимость районирования ее с точки зрения

использования техники, строительных машин и механизмов. На основании сопоставления суровости климата, характера вечной мерзлоты и других факторов были выделены следующие географические зоны: арктическая наибольшей суровости, субарктическая высокой суровости, северная суровая, восточная умеренно-суровая, требующая лишь приспособления стандартной техники.

Практический интерес представляет подход к установлению границ Севера по технико-экономическим соображениям еще во времена Советского Союза. По разработкам СОПС при Госплане СССР Северная зона была разделена на четыре составных части:

I. Европейский Север: Мурманская область, Карельская АССР, Архангельская область, Коми АССР.

II. Север Западной Сибири: Север Тюменской области (Ямало-Ненецкий и Ханты-Мансийский национальные округа); Север Томской области (районы Александровский, Бакчарский, Верхнекетский, Кargasокский, Колпашевский, Кривошеинский, Молчановский, Парабельский, Чаинский, г. Колпашево).

III. Север Восточной Сибири: Север Красноярского края (Таймырский и Эвенкийский национальные округа, районы Туруханский, Енисейский, Богучанский, Кежемский, Мотыгинский, города Игарка, Норильск, Енисейск с территориями, подчиненными горсоветам); Север Иркутской области (районы Катангский, Бодайбинский, Казачинско-Ленский, Киренский, Мамско-Чунский, Нижне-Илимский, Усть-Илимский, Усть-Кутский, Братский, города Братск, Бодайбо и Усть-Кут с территориями, подчиненными горсоветам); Север Бурятской АССР (районы Баунтовский, Северо-Байкальский); Север Читинской области (районы Каларский, Тунгиро-Олекминский, Тунгокоченский).

IV. Дальневосточный Север: Якутская АССР, Магаданская область, Север Амурской области (районы Джелтулакский, Зейский, Селемджинский); Север Хабаровского края (районы Аяно-Майский, Охотский, Николаевский, им. Полины Осипенко, Тугуро-Чумиканский, Ульчский, г. Николаевск-на-Амуре); Камчатская область, Север Сахалинской области (районы Охтинский, Ногликский).

Кроме вышеназванных территорий, в состав Северной зоны входят острова Северного Ледовитого океана и его морей, также Берингова и Баренцева морей.

Вышепринятое еще в советское время разделение территории Севера на районы, тяготеющие в части обеспечения материальными ресурсами к определенным городам, расположенным южнее Северной зоны, является актуальным и действующим по сегодняшний день. Например, Европейский Север, опирающийся в своем развитии на промышленность Ленинградской и Вологодской областей; Север Западной Сибири (Обский Север), тяготеющий к городам Тюмень, Томск и Новосибирск; Север Красноярского края (Енисейский Север), связанный с Красноярском; северная часть Иркутской области и Республика Саха (Якутия), опирающиеся на города Братск, Иркутск, Красноярск; Магаданская и Камчатская области – к расположенным южнее тихоокеанским портам Владивостоку, Находке, Ванино и др.

Следует отметить, что заложенные ранее в широтном направлении преимущественные экономические связи между западной частью побережья Северного Ледовитого океана (до Тикси) и развитыми районами европейской части РФ через гг. Мурманск, Архангельск, а также восточной частью побережья (восточнее Тикси) и Владивостоком так и не достигли существенного развития. Меридиональные связи с крупными промышленными центрами оказались преобладающими, благодаря целенаправленному развитию железнодорожного и речного сообщений.

Районирование северной строительно-климатической зоны, предложенное Институтом строительной физики (НИИСФ) [3], основано на следующих показателях: абсолютная минимальная температура воздуха, температура наиболее холодных суток и наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,98 и 0,92, сумма средних суточных температур за отопительный период. По суровости климата на территории северной строительно-климатической зоны выделены районы суровые, наименее суровые и наиболее суровые.

Как видно из рис. 1.1, практически вся территория Якутии, кроме Южной Якутии (г. Нерюнгри) и побережья Северного Ледовитого океана (пос. Тикси), относится к району с наиболее суровыми климатическими условиями, где минимальные суточные температуры достигают значений в пределах $-49 \dots -63^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, в наиболее суровых климатических условиях находятся промышленно развитые северные города Норильск, Игарка, Мирный и Якутск, а в суровых – города Нарьян-Мар, Певек и Магадан. Продолжительность отопительного периода в сутках составляет в городах соответственно: Норильск – 365, Певек – 311, Нарьян-Мар – 290, Магадан – 288, Игарка – 285, Мирный – 280, Якутск – 256. Многолетний опыт строительства и эксплуатации зданий в условиях этих городов позволяет адекватно оценить те или иные технологии строительства, а также долговечность строительных материалов и конструкций на Севере.

Северные города Архангельск, Воркута, Магадан, Мурманск, Норильск, Якутск обогатили мировую практику строительства и эксплуатации крупных населенных поселений в суровых природно-климатических условиях. Особое место принадлежит Якутску – столице Республики Саха (Якутия), расположенному в зоне резко континентального климата и вечной мерзлоты, сочетание которых создает особые проблемы в строительстве. Якутия – крупнейший промышленно-аграрный регион площадью 3103,2 тыс. км² – занимает практически 1/5 часть территории РФ, ее границы простираются с юга на север вдоль русла р. Лена до Северного Ледовитого океана. Якутия по своим суровым природно-климатическим параметрам значительно отличается от приарктических государств Северного полушария. Экстремальный климат ($-71 \dots 38^{\circ}\text{C}$) в сочетании с платформой вечной мерзлоты, количеством дискомфортных дней до 300 в году позволяет говорить о регионе, как о зоне повышенного риска для проживания человека. А г. Якутск может быть принят представительным пунктом с очень холодным и наиболее резко континентальным климатом для проведения испытаний материалов и элементов конструкций на долговечность [4, 5].

Освоение месторождений полезных ископаемых и стратегического сырья, строительство промышленных и гражданских соору-

жений на территории северных регионов осложнены наличием толщи вечномерзлых грунтов (криогенная толща) и районов глубокого сезонного промерзания, так как эксплуатационно-строительные свойства мерзлых грунтов зависят от их температуры и льдонасыщенности, а наиболее существенное изменение их свойств происходит при оттаивании льдистых грунтов.

Вечномерзлые грунты занимают обширную территорию России (рис. 1.2) [2]. Современная область распространения криогенной толщи на карте показана линией 34. Границы Северной (*a*) и Южной (*b*) геокриологических зон показаны линией 35. В Северной геокриологической зоне криогенная толща непрерывно существует на протяжении десятков и сотен тысяч лет, а в Южной – сформировалась в плейстоцене. Максимальная мощность криогенной толщи, составляющая от 1000 до 1500 м (на карте обозначено цифрой 1), находится в районе северных сибирских рек Хатанга и Оленек, а в центральной части Якутии – порядка 300–500 м (линия 8).

Хозяйственное освоение территории неизбежно приводит к нарушению естественного процесса теплообмена грунтов с атмосферой: изменяются гидрогеологический режим, состав и свойства грунта деятельного слоя. Это вызывает изменение температурного и влажностного режимов грунтов, ведущее к интенсивному развитию ряда криогенных процессов (термокарст, пучение, морозобойное трещинообразование, солифлюкция, развитие наледей, новообразование мерзлых толщ или их деградация, оврагообразование), которые изменяют ландшафтные условия и существенно влияют на устойчивость сооружений [6].

Общая теория создания новых строительных композитов [7–10] на первом этапе проектирования их составов предусматривает установление условий работы конструкций, особенно факторов, влияющих на сохраняемость и долговечность материалов. Климатические условия оказывают решающее влияние на долговечность ограждающих конструкций и зданий в целом. Поэтому выбор или разработка строительных материалов для ограждающих конструкций, наиболее приемлемых в данных условиях эксплуатации, прежде всего, определяются климатическими факторами.

Климатические особенности, как температура наружного воздуха, интенсивность солнечной радиации, количество осадков, сила и направление ветра, определяющие суровость климата для разных районов Севера, изменяются в широких пределах [3, 5].

В отсутствие агрессивной среды процессы разрушения материалов являются следствием быстро развивающихся химических реакций и в основном зависят от внешних воздействий, которые вызывают периодические изменения теплового и влажностного состояния ограждающих конструкций. Однако в большей степени эксплуатационные показатели ограждающих конструкций зависят от структуры и свойств исходных материалов, значения которых закладываются еще на стадии проектирования строительных композиций [7].

Современная теория создания строительных композитов позволяет прогнозировать основные свойства материалов, в частности, коэффициент теплопроводности [11], термический коэффициент линейного расширения, морозостойкость [9, 12], прочность [13, 14], и в целом их климатическую устойчивость и эксплуатационную надежность в составе конструкций [10], а также оценить научно-технический уровень технологии производства и применения материалов [15, 16] с точки зрения современной концепции энергоресурсосбережения и экологии окружающей среды.

Анализ повреждаемости зданий на Севере показывает, что характер износа материалов и конструкций в значительной степени определяется не только датой возведения зданий, но и конструктивной схемой надземной части и фундаментов.

История каменного строительства на вечной мерзлоте имеет давнее начало. Первое каменное здание из местного обожженного кирпича было построено еще в начале XVIII в. В 1706–1707 гг. было сооружено одноэтажное каменное административное здание Военной канцелярии в г. Якутске, которое эксплуатировалось вплоть до конца 70-х годов XX столетия [17]. Длительный срок службы стен из неморозостойкого кирпича старинных зданий, в частности, объясняется их хорошей защитой наружными и внутренними штукатурными слоями из мелкозернистого известкового бетона, а также в ряде случаев активной вентиляцией сухого (горячего) воздуха

в пустотных конструкциях, что видно из разобранных фрагментов стен [18].

Для кирпичных зданий, возведенных после 1950 г., долговечность стеновых конструкций аварийных зданий составила всего 21–33 года, причиной разрушения которых явились чрезмерное увлажнение кирпичной кладки и знакопеременные температурные воздействия. Причем крупные аварии кирпичных зданий происходят закономерно, как правило, с началом наступления устойчивого теплого сезона – в период с 29 мая по 9 июня в результате оттаивания замерзшей кладки [19].

Незначительный срок эксплуатации крупнопанельных зданий в климатических условиях Крайнего Севера не позволяет судить об эксплуатационной стойкости слоистых ограждающих конструкций на основе железобетона и пенополистирола.

Основным недостатком многоэтажных зданий являются непригодность инженерных сетей к аварийным утечкам и недоработки конструкций сборников атмосферных вод в кровельном покрытии, которые приводят к попаданию влаги на ограждающие и несущие конструкции. Надежность конструкций зданий снижается не только из-за недостатков проектирования, но и иногда из-за низкого качества готовой продукции заводского изготовления, а также упущений при проведении строительно-монтажных работ.

За практически 40-летний опыт крупнопанельного домостроения на Крайнем Севере (Воркута, Игарка, Норильск, Певек, Тикси, Якутск и др.) к настоящему времени достигнуто очень много в технологическом и техническом плане, однако в полном объеме не решены вопросы обеспечения требуемого качества теплоизоляции и герметизации стыков, систем вентиляции и кондиционирования. На примере ДСК г. Якутска следует признать, что индустриальный подход при надлежащем качестве позволяет достигнуть высокого темпа строительства и ввода в эксплуатацию многоквартирных жилых зданий, конкурентоспособных в условиях рыночных отношений.

О критическом положении в многоэтажном домостроении при высокой плотности застройки в условиях вечной мерзлоты говорят такие цифры: «По результатам исследований, проведенных мерзлотной службой Якутского треста инженерных изысканий, только в

столице РС(Я) из 1292 обследованных каменных и крупнопанельных зданий 687 находятся в неудовлетворительном техническом состоянии, 140 – в аварийном» [19].

К легким ограждающим конструкциям относится трехслойная панель с деревянным каркасом и эффективным утеплителем, позволяющая наилучшим образом использовать конструкционный и теплоизоляционный материалы. При этом наибольшую теплозащитную способность, как известно, имеет стена с теплоизоляцией в виде непрерывного экрана [20].

В свое время широкое распространение на Севере получили дома 139-й серии полной заводской готовности [21], построенные из клефанерных панелей с деревянным каркасом и утеплителем из пенопласта марки ФРП-1. Наряду с повышенными теплозащитными показателями к основным недостаткам этих домов относятся не только низкая огнестойкость деревянных ограждений с пенопластом ФРП-1, но и повышенное содержание фенола в жилых помещениях, что было установлено Якутским центром Госсанэпиднадзора в 1991 г. Превышение предельно допустимой концентрации (ПДК) содержания фенола в жилых помещениях исследованных домов в с. Большая Марха и пос. Батагай, г. Вилюйске было обнаружено в 65,8% случаях. А в ряде квартир средняя концентрация фенола в помещениях превышала ПДК в 7–10 раз. В связи с этим строительство домов этой серии было приостановлено с 1 января 1992 г. Кроме того, циклическое возникновение инея (скопления влаги) в зимний период на границе «фанера–пенопласт» трехслойных ограждений ведет к расслоению наружной обшивки из фанеры [21].

Влажностное состояние материалов и изделий предопределяет не только долговечность ограждающих конструкций, но и их термомеханические и теплотехнические характеристики. При определении расчетных коэффициентов теплопроводности возникают различия в уровне эксплуатационной влажности строительных материалов, например, ячеистого бетона в отечественных [22] и зарубежных нормах [23].

Правилами ЕКБ [23] предусматривается, что эксплуатационная массовая влажность в наружных однослойных стенах не должна превышать 4–6%. Это достигается через 1–2 года нормальной экс-

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
	4
Глава 1. Строительство на Севере	
1.1. Природно-климатические условия и долговечность строительных материалов.....	5
1.2. Этапы развития каменного строительства.....	17
1.3. Кирпичные здания XVIII–XX вв.	28
1.4. Индустриальное домостроение.....	41
1.5. Сельское и индивидуальное строительство.....	45
1.6. Минерально-сырьевые ресурсы строительных материалов.....	51
Глава 2. Натурное обследование материалов ограждающих конструкций зданий	59
2.1. Влияние климатических факторов на свойства материалов ограждающих конструкций.....	61
2.2. Тепловлажностный режим ограждающих конструкций жилых зданий в Якутске	63
2.2.1. Экспериментальное здание из объемных железобе- тонных элементов Института физтехпроблем Севера.....	63
2.2.2. Экспериментальные дома из местных материалов на основе глинистых грунтов.....	68
2.2.3. Жилые здания из керамзитобетонных блоков и панелей.....	72
2.2.4. Жилые здания из трехслойных панелей.....	78
2.2.5. Монолитно-каркасные здания.....	85
2.2.6. Деревянно-каркасные здания.....	93
2.3. Качество строительных материалов и конструкций – основа безопасности, надежности и долговечности зданий.....	108

Глава 3. Энергоэффективные строительные материалы и конструкции.....	119
3.1. Влияние микроструктуры цементного камня на прочность и стойкость композиционного материала.....	119
3.2. Эксплуатационная стойкость ограждающих конструкций из керамзитобетона и арболита.....	123
3.3. Теплоизоляционный пенобетон в монолитно-каркасном строительстве.....	134
3.4. Теплоизоляционный пенобетон в малоэтажном строительстве.....	147
3.5. Новые подходы к индивидуальному и индустриальному способу строительства на Севере.....	165
3.6. Энерго- и ресурсосбережение.....	189
Заключение.....	221
Литература.....	223



МЕСТНИКОВ Алексей Егорович

д.т.н., профессор, почетный работник высшего профессионального образования РФ, заслуженный деятель науки и почетный строитель Республики Саха (Якутия), в 1996-1999 гг. – докторант МГСУ

АБРАМОВА Полина Семеновна

к.т.н., доцент, почетный работник высшего профессионального образования РФ, заслуженный работник образования РС(Я), в 1962 г. закончила Уральский политехнический институт по специальности «Инженер-технолог-силикатчик», аспирантуру МИСИ в 1973 г.



АНТИПКИНА Татьяна Сергеевна

почетный строитель РФ, заслуженный строитель РС(Я), первый зам. ген. директора ОАО «ДСК», доцент ИТФ, закончила Красноярский политехнический институт по специальности «Инженер-строитель-технолог» в 1976 г.

ЕГОРОВА Анастасия Дмитриевна

к.т.н., доцент, закончила МИСИ по специальности «Инженер-строитель-технолог» в 1992 г. и аспирантуру в 2002 г.



Научное издание

**Местников Алексей Егорович,
Абрамова Полина Семеновна,
Антипкина Татьяна Сергеевна,
Егорова Анастасия Дмитриевна**

**ТЕПЛОВАЯ ЗАЩИТА ЗДАНИЙ НА СЕВЕРЕ:
МАТЕРИАЛЫ, ИЗДЕЛИЯ И КОНСТРУКЦИИ**

Редакторы *Л.П. Филиппова, В.П. Бурмакин*
Компьютерная верстка *С.Е. Большедворская*
Техническое оформление рисунков *В.В. Куба*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98.
Формат 60х90/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.
Усл. 15,0 п.л. Тираж 500 экз. Заказ №

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации – оф. 511.
Тел., факс: (499) 183-56-83. E-mail: iasv@mgsu.ru. Сайт: www.iasv.ru