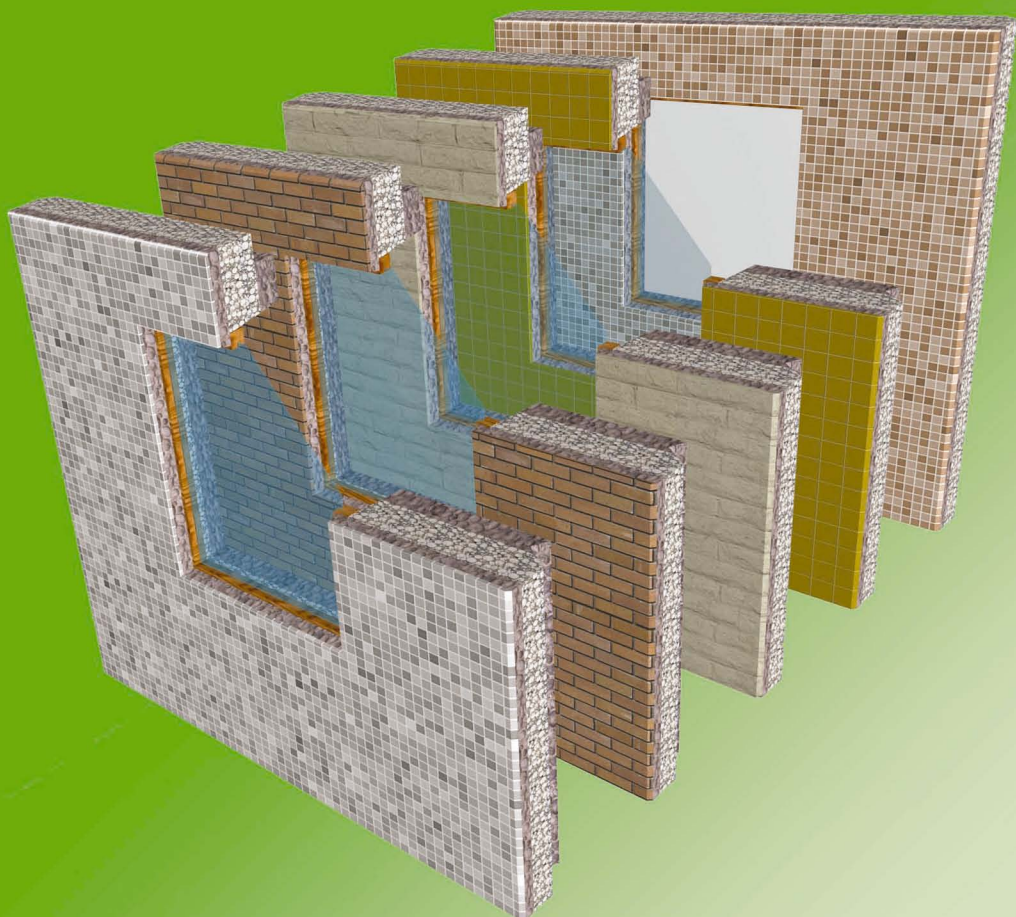


Ю.М. Баженов Е.А. Король В.Т. Ерофеев Е.А. Митина

ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕТОНОВ НИЗКОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

основы теории, методы расчета и технологическое
проектирование



Ю.М. Баженов, Е.А. Король, В.Т. Ерофеев, Е.А. Митина

**ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕТОНОВ
НИЗКОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ**

**(основы теории, методы расчета
и технологическое проектирование)**



Издательство Ассоциации строительных вузов
Москва 2008

Рецензенты: советник РААСН, заведующий кафедрой «Технология бетонов, керамики и вяжущих» Пензенского государственного университета архитектуры и строительства, доктор технических наук, профессор *Калашиников В.И.*;
член-корреспондент РААСН, декан факультета ГДСиХ МИКХиС, доктор технических наук, профессор *Римшин В.И.*

Ю.М. Баженов, Е.А. Король, В.Т. Ерофеев, Е.А. Митина

Ограждающие конструкции с использованием бетонов низкой теплопроводности (основы теории, методы расчета и технологическое проектирование): Научное издание. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. – 320 с.

ISBN 978-5-93093-520-2

В книге обобщены конструктивные решения, область применения и опыт производства многослойных ограждающих конструкций. Приведены сведения о материалах для их изготовления. Показаны преимущества многослойных конструкции на основе бетонов низкой теплопроводности. Разработаны теоретические основы расчета ограждающих конструкций с использованием бетонов низкой теплопроводности. Приведены результаты исследования в области подбора составов композиционных материалов для изготовления изделий. Предложены способы повышения долговечности бетонов. Разработаны технологии изготовления ограждающих конструкций с применением низкотеплопроводных бетонов, представлены заводские технологии их изготовления.

Книга рассчитана на инженерно-технических и научных работников, аспирантов, студентов.

ISBN 978-5-93093-520-2

© Издательство АСВ, 2008
© Ю.М. Баженов, Е.А. Король,
В.Т. Ерофеев, Е.А. Митина, 2008

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящее время в Российской Федерации на отопление зданий и сооружений расходуется около 70% всей тепловой энергии, вырабатываемой в стране. Обусловлено это не только географическим положением России, климат на большей территории которой является резко континентальным с холодными продолжительными зимами и жарким коротким летом со среднегодовой температурой -5°C , но и чрезмерными потерями тепла при отоплении, которые составляют около 360 млн т условного топлива в год, или 30% всего годового потребления теплоэнергоресурсов страны. В этой связи повышение теплозащиты гражданских и промышленных зданий с целью экономии топливно-энергетических ресурсов и снижения эксплуатационных расходов на отопление является актуальной проблемой современного строительства, решение которой может быть достигнуто за счет применения ограждающих конструкций с высоким сопротивлением теплопередаче, в первую очередь стен, а также чердачных перекрытий и покрытий.

В России с переходом в новое тысячелетие вступили в действие повышенные нормативные требования по теплозащите зданий (Изменения № 3 к СНиП II-3-79 «Строительная теплотехника»), для обеспечения которых значительно повышено требуемое приведенное сопротивление теплопередаче всех ограждающих конструкций.

В настоящее время в России более 80% зданий различного назначения возводится с применением сборного железобетона. Кроме того, его используют для стеновых ограждений зданий с монолитным несущим остовом. При переходе к новым требованиям по теплозащите оказалось не эффективным применение однослойных ограждающих конструкций из легких, а также ячеистых бетонов, поскольку существенно увеличивается их толщина и, как следствие, масса, материалоемкость, энергоемкость и стоимость. Очевидно, при новых повышенных требованиях к теплозащите зданий стены должны выполняться многослойными с использованием эффективных теплоизоляционных материалов.

Однако имеющийся опыт производства и применения традиционных трехслойных панелей выявил ряд трудноустраняемых недостатков. К ним относятся: термическая неоднородность за счет наличия связей между слоями (металлических, бетонных, комбинированных и др.), являющихся теплопроводными включениями и снижающими (до 40%) сопротивление теплопередаче конструкции в целом; повышенная трудоемкость изготовления из-за значительной доли ручного труда по раскрою и укладке утеплителя, установке связей между отдельными слоями, а также в ряде случаев дополнительных затрат на их защиту, например гибких металлических связей от коррозии, а эффективного утеплителя – от возгорания.

Всего в Российской Федерации в настоящее время производится 7,5–8,0 млн м³ в год всех видов теплоизоляционных материалов (при потребно-

сти не менее 10 млн м³), причем до 60% составляют минераловатные изделия, 13% – стекловатные утеплители и 27% – строительные пенопласты. Применение минераловатных и стекловатных теплоизоляторов является весьма проблематичным, так как они обладают высокой гигроскопичностью и при увлажнении значительно снижают свое термическое сопротивление, а большой спрос на качественный пенополистирол на фоне недостаточного предложения привел к тому, что цена на него значительно выросла.

Для ограждающих конструкций покрытий и чердачных перекрытий оказалось не рациональным применение мелкоштучных и насыпных утеплителей, устройство которых осуществляется непосредственно на строительной площадке. Во-первых, значительно увеличивается толщина этих конструкций из-за относительно высокого коэффициента теплопроводности допущенных к применению для теплоизоляции несущих конструкций перекрытий и покрытий материалов. Во-вторых, трудно обеспечить предусмотренное проектом качество и теплотехническую однородность конструкций построечного изготовления с использованием традиционных технологий при круглогодичном производстве работ в различных климатических условиях.

Примененное в конструкции так называемое последовательное соединение неравнодолговечных внешних и внутреннего слоев делает ее с точки зрения ремонтпригодности невозможным элементом. Утрата теплотехнических свойств утеплителем или коррозия гибких связей ведут к потере эксплуатационных свойств конструкцией и невозможности восстановления ее работоспособности. Кроме того, их выпуск требует внесения значительных изменений в существующие технологические линии заводов ЖБИ.

Одним из эффективных путей повышения теплозащиты зданий является применение трехслойных ограждающих конструкций с наружными слоями из конструкционных бетонов и средним слоем из низкотеплопроводных легких бетонов. Они обеспечивают высокое сопротивление теплопередаче и могут использоваться при строительстве объектов гражданского и промышленного назначения в различных климатических условиях. Отличительной особенностью изготовления таких конструкций является последовательная укладка слоев в едином технологическом цикле, что обеспечивает надежное сцепление и устраняет необходимость установки стальных или дискретных железобетонных связей между слоями. При этом трудоемкость их изготовления практически не отличается от однослойных конструкций. С использованием подобной технологии могут изготавливаться несущие, самонесущие и навесные стеновые панели, плиты перекрытий и покрытий, крупноразмерные и мелкие стеновые блоки для сборного строительства, а также ограждающие конструкции в монолитном домостроении.

При равной толщине с однослойными панелями из легких или ячеистых бетонов трехслойные стеновые панели с теплоизоляционным слоем из низкотеплопроводных легких бетонов обладают повышенным в 1,5...2 раза сопротивлением теплопередаче, а также более высокой долговечностью за счет на-

дежной защиты арматуры, размещаемой в наружных слоях из прочного конструкционного бетона. Как правило, при эксплуатационных нагрузках в них не образуются трещины. Преимуществами трехслойных панелей с утеплителем из низкотеплопроводного легкого бетона и монолитной связью слоев по сравнению с трехслойными панелями с эффективными утеплителями являются снижение трудоемкости изготовления, расхода стали, повышение пожаростойкости за счет применения негорячего утеплителя и долговечности за счет отказа от гибких связей, подверженных коррозии.

При заводском изготовлении стеновых панелей с расположением фасадного наружного слоя из плотного конструкционного бетона снизу возможно использование рельефных матриц, а также цветных цементов, что позволяет создавать архитектурную выразительность возводимых с использованием таких конструкций зданий.

Применение трехслойных ограждающих конструкций с утеплителем из низкотеплопроводных легких бетонов при строительстве новых объектов и реконструкции зданий позволяет создавать эффективные конструкции стен, чердачных перекрытий и покрытий, изготавливаемых по единой технологии. Дальнейшее совершенствование таких конструкций направлено на поиски путей снижения средней плотности и коэффициента теплопроводности, в первую очередь бетонов, которые могут применяться в среднем слое, при обеспеченной прочности и надежности конструкций в целом.

Перспективным направлением для получения ограждающих конструкций представляется изготовление их на основе бетонов каркасной структуры, получаемых на первом этапе склеиванием между собой зерен крупного заполнителя в каркас и на втором – замоноличиванием крайних слоев матричной композицией, которое основано на применении местных и недефицитных материалов и обеспечивает сохранение практически без изменения парка существующих металлоформ, номенклатуры арматурных изделий, основных технологических процессов по изготовлению, транспортированию и монтажу конструкций.

Книга является результатом сотрудничества следующих авторов: *гл. 1* написана Баженовым Ю.М., Король Е.А., Ерофеевым В.Т., Митиной Е.А., *гл. 2* – Король Е.А., *п. 3.1, 3.2 гл. 3* – Король Е.А., *п.3.3.1 гл. 3* – Ерофеевым В.Т., Митиной Е.А., *п. 3.3.2 гл. 3* – Новичковым П.И., Митиной Е.А., Ерофеевым В.Т., *п. 3.3.3 гл. 3* – Меркуловым И.И., Ерофеевым В.Т., Митиной Е.А., *п. 3.3.4 гл. 3* – Ерофеевым В.Т., *п. 3.3.5 гл. 3* – Асташовым А.М., Никитиным Л.В., Ерофеевым В.Т., *гл. 4* – Король Е.А., *п. 5.1 гл. 5* – Коротаевым С.А., Богатовым А.Д., Ерофеевым В.Т., *п. 5.2 и 5.3 гл. 5* – Митиной Е.А., Ерофеевым В.Т., *п. 5.4 гл. 5* – Богатовым А.Д., Ерофеевым В.Т., *п. 5.5 гл. 5* – Завалишиным Е.В., Ерофеевым В.Т., *п. 5.6 гл. 5* – Ерофеевым В.Т., Коротаевым С.А., *п. 5.7 гл. 5* – Барговым Е.Г., Богатовым А.Д., Ерофеевым В.Т., *п. 6.1 – 6.4 гл. 6* – Федорцовым А.П., *п. 6.5 гл. 6* – Черушовой Н.В., Митиной Е.А., Ерофеевым В.Т., Смирновым В.Ф., *п. 6.6 гл. 6* – Завалишиным Е.В., Черушовой Н.В., Ерофеевым В.Т., Смирновым В.Ф., *гл. 7* – Король Е.А., *гл. 8* – Ерофеевым В.Т., Митиной Е.А., Богатовым А.Д., Барговым Е.Г., Асташовым А.М.

Глава 1. СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОГРАЖДАЮЩИМ КОНСТРУКЦИЯМ ГРАЖДАНСКИХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ И АНАЛИЗ ИХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ

1.1. Совершенствование теплозащитных требований к ограждающим конструкциям

С целью экономии топливно-энергетических ресурсов на эксплуатацию с 1 января 2000 года для вновь строящихся зданий вступили в действие требования второго этапа энергосбережения, определенные Изменениями № 3 к СНиП П-3-79* «Строительная теплотехника». Согласно этим требованиям приведенное сопротивление теплопередаче стен, покрытий, а также перекрытий чердачных, над холодными подпольями и подвалами повышено в 1,2...1,75 раза по сравнению с первым этапом, а в целом по сравнению с ранее действующими нормами – в 3...3,5 раза. Это повлекло за собой переоценку всех существующих конструктивных решений ограждающих конструкций с целью повышения теплоизоляционных свойств и обеспечения эксплуатационной долговечности.

Как известно, большинство тепловпотерь в зданиях (до 68%) происходит через ограждающие конструкции. Из них до 67% – через несветопрозрачные (45% – через стены, 22% – через чердак и полы) и 33% через светопрозрачные – окна и двери.

Для установления новых нормативов теплозащиты зданий было предусмотрено снижение удельного энергопотребления на втором этапе до 40% для всех типов зданий. До принятия новых норм в целом по России расходы на отопление составляли 55 и на горячее водоснабжение 19, т.е. суммарно 74 кг у.т./(м^2 год). Для сравнения: в Германии этот показатель составляет 34, Швеции и Финляндии – 18 кг у.т./(м^2 год), что очевидно значительно меньше, чем в нашей стране.

По данным Европейской ассоциации производителей теплоизоляционных материалов при сравнении относительных уровней приведенных толщин теплоизоляции наружных ограждений (при коэффициенте теплопроводности 0,05 Вт/($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) Россия в 1986 году была на уровне западных стран 1982 года, а в 1990 году, оставаясь на неизменном уровне, она была уже на уровне только южных стран (*рис. 1.1*). При этом вплоть до 1995 года нормативы в нашей стране оставались неизменными, а затем их стремительный рост форсировал стремительную перестройку строительной индустрии на применение энергоэффективных конструкций.

При переходе к новым требованиям традиционные однослойные конструкции оказались нерациональными из-за большого расхода материалов и существенного увеличения их толщины и, как следствие, массы. Так, например,

для условий Москвы толщина стен жилых зданий из пустотелого кирпича ($\gamma = 1400 \text{ кг/м}^3$) должна быть увеличена до 2,02, полнотелого кирпича ($\gamma = 1800 \text{ кг/м}^3$) – 2,55, панелей из керамзитобетона ($\gamma = 900 \text{ кг/м}^3$) – 1,2 м. При этом потребуется не только корректировка проектов зданий, но также использование кранов и транспортных средств большей грузоподъемности в массовом сборном строительстве, а на производстве – изменение опалубочных форм. Отсюда следует, что применять кирпич и керамзитобетон в соответствии с новыми нормами целесообразно только в конструктивных слоях ограждающих конструкций.

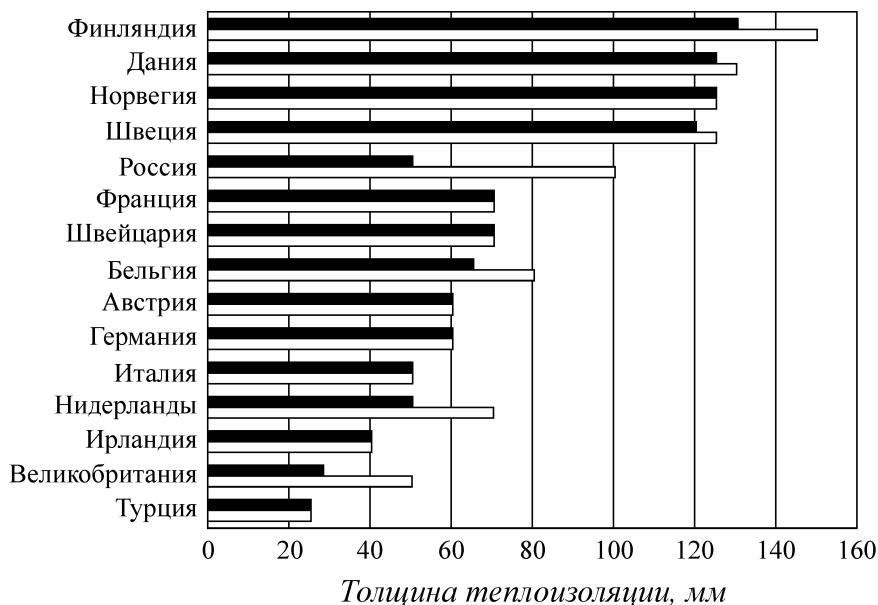


Рис. 1.1. Нормирование приведенной толщины теплоизоляции на 1982 и 1990 гг. (для России – 1986 и 1995 гг.)

Основным направлением, позволяющим обеспечить современные требования по теплозащите зданий без существенного увеличения материалоемкости, является применение многослойных ограждающих конструкций с эффективными теплоизоляционными материалами.

Для чердачных перекрытий и покрытий зданий различного назначения требования к сопротивлению теплопередаче увеличились еще больше, чем к стенам. Использование мелкоштучных и насыпных утеплителей для них существенно повышает трудоемкость возведения зданий и, как следствие, их стоимость. Поэтому для этих ограждающих конструкций представляется перспективным использование элементов и конструкций повышенной заводской готовности, обеспечивающих надлежащее качество при существенном уменьшении трудозатрат на строительстве.

1.2. Основные виды современных многослойных стен

Стены являются одним из главных конструктивных элементов зданий и сооружений. Они не только изолируют помещения от внешней среды, передают тепло, воздух, влагу, но и подвергаются сложному комплексу внутренних воздействий в зависимости от характера технологического процесса производства. Поэтому современные стеновые конструкции должны обладать необходимой прочностью, стойкостью против атмосферных воздействий и коррозии, иметь требующиеся тепло-, водо-, воздухо- и звукоизоляционные качества, быть достаточно долговечными и огнестойкими, обеспечивать индустриальность и экономическую эффективность строительства. Кроме того, выбор конструкции стен является одним из главных вопросов проектирования, так как их стоимость составляет значительную часть стоимости всего здания.

По виду материала различают каменные, деревянные, бетонные и комбинированные стены, а по роду применяемых для возведения стен конструктивных материалов – стены из крупных блоков, из панелей и штучных (мелкоразмерных) каменных материалов. С теплотехнической точки зрения условно различают три основных вида наружных стен по числу основных слоев: однослойные, двухслойные и трехслойные.

Однослойные стены наиболее привычны российским проектировщикам и строителям и наиболее просты в исполнении и эксплуатации. Однослойные стены, как правило, изготавливаются из однородного материала. Характерной их особенностью является то, что данный материал выполняет как несущие, так и теплотехнические функции.

Для изготовления однослойных ограждающих конструкций в отечественной и зарубежной строительной практике нашли широкое применение различные виды кирпича, керамзитового, шлакового, газозолобетонного, бетонного ячеистой структуры. Особенностью современных однослойных ограждающих конструкций является то, что их возведение возможно в основном из бетонов плотностью не более $600\text{--}700\text{ кг/м}^3$ или из глиняного пустотелого кирпича, обладающих достаточными теплотехническими характеристиками.

Однако, как показала практика строительства, однослойным стенам из различных материалов присущи такие недостатки, как неоднородность материала по средней плотности и, следовательно, неравномерность теплозащитных свойств; повышенная влажность материала в первые годы эксплуатации, обуславливающая пониженное против проектного значение сопротивление теплопередаче стен и повышенную влажность внутреннего воздуха; недостаточное сопротивление теплопередаче при относительно большой толщине стен, что ведет к повышенному расходу материалов на 1 м^3 изделия. Поэтому с точки зрения получения эффективных ограждающих конструкций, отвечающих современным требованиям в плане теплотехнических свойств, оптимальным является применение слоистых систем – двух- и трехслойных.

Двухслойные стены состоят из несущего и теплоизоляционного слоев, при этом теплоизоляция может быть расположена как снаружи, так и изнутри.

Внутренняя теплоизоляция требует специального теплотехнического расчета на предмет защиты ее от увлажнения и накопления влаги в толще утеплителя и тщательного изготовления. Системы с наружной теплоизоляцией имеют ряд существенных преимуществ (высокая теплотехническая однородность, разнообразие архитектурных решений фасада, предпочтительность при реконструкции теплозащиты стен) и нашли широкое применение в строительной практике. В настоящее время применяют два варианта таких систем: первый вариант – системы с наружным штукатурным слоем; второй – системы с воздушным зазором.

Способ наружной теплоизоляции стен с оштукатуриванием утеплителя состоит в приклеивании или механическом креплении к стенам теплоизоляционных плит и нанесении на них полимерцементного покрытия или цементной штукатурки, армированных сетками из стекловолокна или стали. Для усиления и выравнивания краев плитной облицовки используют профили из коррозионно-стойких материалов: поливинилхлорида, алюминиевых сплавов, нержавеющей стали. Впервые данный способ был применен в скандинавских странах в 40-х годах, где были использованы стекловолокнистые плиты и цементная штукатурка медленного схватывания, и в Германии в 1959 г. фирмой «Drivit», разработавшей систему теплоизоляции с использованием пенополистирольных плит и полимерного покрытия.

Из теплоизоляционных материалов наиболее подходящим для данного способа и часто применяемым является плитный пенополистирол. Помимо обычных теплоизоляционных плит ряд зарубежных фирм выпускает специальные – для теплозащиты наружных стен. Например, в Германии производят теплоизоляционные плиты «Styrodur» из экструзивного пенополистирола, покрытого с обеих сторон раствором, усиленным стеклотканью. Для возможности монтажа на их поверхность точечно наносят раствор и через день в эти места устанавливают дюбели диаметром 8 мм.

Некоторые фирмы предлагают производить утепление стен напылением теплоизоляционного материала. Фирма АОЗТ «ТЕРКОМ» производит эковату, представляющую собой рыхлый, очень легкий материал, состоящий из обработанной целлюлозы и специальных добавок. Фирма «Истрокон» предлагает напыляемый пенополиуретан закрытоячеистой структуры, наносимый механизированным методом. В системе «Родипор» предлагается в качестве теплоизолирующего слоя использовать теплоизолирующую штукатурку «Родипор».

Устройство защитного слоя теплоизоляции может осуществляться при помощи нанесения по ее поверхности полимерного покрытия или штукатурки, армированных стекловолокнистыми или стальными сетками.

Системы, в которых используются полимерные покрытия, разрабатываются фирмами – производителями красок («Zolpan», «Senergy» и т.д.). Штукатурные растворы на основе синтетических вяжущих, выпускаемых в Германии, состоят из полимерных дисперсий и минеральных наполнителей – кварцевой муки, слюды, каолина, барита, талька, диоксида титана и имеют несколько мо-

дификаций для нанесения с помощью кельмы, шпателя, кисти или набрызгом. Дисперсионная штукатурка быстро схватывается, обладает высокой прочностью и мало подвержена растрескиванию.

Цементные штукатурки имеют недостаточно высокую трещиностойкость. Однако они ударопрочны, повышают огнестойкость теплоизоляции, могут применяться в сочетании с более огнестойкими плитами из стекловолокна, фибролита и т.д. Благодаря значительной толщине слоя (1,5–2,0 мм) они сглаживают неровности основания и позволяют не предъявлять высоких требований к качеству работ.

Клеевое крепление пенополистирольных плит к стенам является более простым в исполнении по сравнению с механическим, но менее надежным. Поэтому область его применения ограничивается стенами с ровной поверхностью. Клеящий состав наносят на поверхность плит пятнами или по контуру. В системе «Неск» (Германия) клеевое крепление с применением цементного раствора выполняется сплошным и дополняется механическим пазогребневым, которое образуется при заполнении раствором горизонтальных пазов, фрезерованных на поверхностях пенополистирольных плит.

В качестве примера использования способа теплоизоляции с применением клеевого крепления пенополистирольных плит к стенам можно привести систему Isro, разработанную в Германии, которая включает в себя слой пенополистирольных плит толщиной до 10 см и полимерцементное покрытие толщиной 3–6 мм, армированное стеклосетками. При ее изготовлении приклеивание пенополистирольной облицовки к стенам, стеклосеток к пенополистиролу и создание защитного покрытия осуществляются фирменным полимерцементным раствором, получаемым путем затворения водой сухой смеси, состоящей из минерального наполнителя, гидравлического вяжущего, сополимера винилхлорида и добавок. Для повышения надежности клеевого крепления используют дюбели из нержавеющей стали.

Из отечественных систем получила распространение система «Теплый дом», созданная в 90-х годах ОАО «Опытный завод сухих смесей» и адаптированная к условиям российского климата. Как и в других системах подобного типа, в ней используются два типа утеплителя: пенополистирол и жесткая минераловатная плита, толщина которых составляет 100–160 мм. На поверхности стены плитный утеплитель крепится вразбежку по швам посредством специального клеевого состава. По закрепленному и выверенному в плоскости утеплителю укладывают армирующий слой, представляющий собой клеевой состав толщиной 3–4 мм, в наружную треть которого утапливают щелочестойкую стекловолнистую сетку. Особое место в данной системе занимают декоративно-отделочные материалы и краски, которые специально разработаны для нее. Их особенность заключается в том, что они обладают высокими показателями паропроницаемости, благодаря чему из внутренних слоев активно выводится влага.

Механический способ крепления более универсален. Его надежность определяется главным образом прочностными свойствами материала несущей части стены и крепежного элемента. Существуют два принципиальных типа механического крепления: с применением пристенной обрешетки из металлических или пластмассовых профилей и с применением специальных соединительных элементов (дюбелей, анкеров и т.д.).

Примером механического профильного крепления может служить система «Mecafix-Rocarmur 1000», предлагаемая французской фирмой «Cegocol Casco Nobel France», в которой применяют экструдированные поливинилхлоридные или алюминиевые профили. Система разработана в двух вариантах. В первом варианте пенополистирольные плиты размером 50×50 см с помощью пазов в торцовых гранях вдвигают в заанкеренные горизонтальные профили и укрепляют вдвигаемыми в пазы незаанкеренными профилями. Во втором случае плиты размером 83×60 см и 100×60 см вдвигают в заанкеренные горизонтальные профили и укрепляют заанкеренными вертикальными профилями.

Установка утеплителя на анкеры применена в системе утепления «Pargmiterm», разработанной в Финляндии. Технологическая последовательность при утеплении состоит из следующих операций. В стены устанавливают крепежные детали не менее 4 на 1 м². На них надевают плиты, прижимаемые к стене сеткой из оцинкованной стали и запорными пластинами. Затем по сетке наносят три слоя штукатурки.

В системах «Epsiwall Isext L» и «Epsiwall Isext S», разработанных французской фирмой «Novembal», механическое крепление пенополистирольных плит размером 1,2×0,45 м осуществляется с помощью соединительных элементов, представляющих собой овальные пластмассовые прокладки, которые вставляют в прорези плит с перекрытием прорезей смежных горизонтальных рядов.

Для стен из пеносиликатных блоков, ячеистых бетонов и других подобных материалов с невысокими прочностными показателями ОАО «ЦНИИ-промзданий» разработана конструкция многослойной стены системы «Термо-фасад». В данной системе плиты крепятся к несущей части стены подвижными кронштейнами, которые устанавливаются с шагом 600×600 мм и обеспечивают свободные температурные деформации штукатурного слоя в его плоскости при шаге деформационных швов до 15 м.

Системы с воздушным зазором отличаются от систем с наружным штукатурным слоем отсутствием ограничений на толщину применяемого утеплителя, закрепляемого на стене дюбелями, а также тем, что теплоизоляционный слой защищают фасадными плитами из различных материалов. Дополнительно между фасадными плитами и утеплителем предусмотрен воздушный зазор толщиной не менее 60 мм.

Данные системы классифицируют по следующим параметрам:

- по виду металлического каркаса подконструкции системы;
- по виду облицовки или защитно-декоративного экрана;

- по виду крепления;
- по типу кронштейна;
- по виду кронштейна.

Металлические каркасы системы могут быть алюминиевыми, оцинкованными с антикоррозионным покрытием, из нержавеющей стали. Алюминиевые подконструкции навесных фасадов характеризуются большим линейным удлинением. Так как рабочая температура колеблется от -30 до $+80^{\circ}\text{C}$, большое значение для долговечности данных подконструкций имеет создание температурно-деформационных швов и узлов.

Оцинкованные металлоконструкции характеризуются низкой стоимостью и малой долговечностью в связи с неоднородностью цинкового и антикоррозионного покрытия, а также по причине электрокоррозии металла.

Наиболее высокой долговечностью обладают металлоконструкции из нержавеющей стали, однако они имеют повышенную стоимость, сравнимую с импортными алюминиевыми системами.

Материалом утеплителя могут служить пенополистирольные и пенополиуретановые плиты, пенопласты на основе мочевиноформальдегидных смол, пенофенопласты, минераловолокнистые, растительноволоконистые и стекловолоконистые жесткие и полужесткие, пробковые, а также комбинированные плиты с применением вышеперечисленных материалов.

Защитно-декоративная облицовка может быть разнообразной: из листовых и плиточных материалов – фиброцементные и цементные плиты («Волна», «Краспан», «Декопан», «Симстоун»), композитные плиты («Альполик» ФР, «Алюмокобонд» А-2), бумажнослоистый пластик, сэндвич-панели из натурального камня, цветные алюминиевые листы («Алкан»), керамический гранит, стеклофибробетон, навесные штучно-наборные плиты («Марморок»), металлокассеты; в виде штукатурного покрытия по натянутой сетке; в виде слоя кирпичной кладки. Вид защитно-декоративной облицовки определяет и вид ее крепления.

Облицовки из асбестоцементной плитки и черепицы крепятся к второстепенным элементам деревянного каркаса на гвоздях и на стальных крюках.

В системе «Vinylit» облицовка из экструдированных поливинилхлоридных полос соединяется с деревянным каркасом, состоящим из одного ряда вертикальных или горизонтальных реек, посредством потайного крепления на винтах или на гвоздях.

Немецкая фирма «Bundesverband der Ziegelindustrie e.v.» разработала способ крепления керамических панелей, который заключается в закреплении их на металлической сетке, расположенной на отnose от утеплителя с помощью пружинных шпонок.

При открытом креплении применяют кляммеры, которые являются основным видом крепления для мелко- и крупноразмерных плит. Закрытое крепление при помощи распорных втулок используется для монтажа керамического гранита и стеклофибробетона.

Фирма «Вагнер-Систем» предлагает для крепления облицовки вентилируемых фасадов клеевой состав ВС-ПикТек[®], представляющий собой двухкомпонентный полимерный клей. Клей образует сплошное соединение между профилем и облицовкой, исключая точечную нагрузку и ослабление профиля за счет шурупов и заклепок, оставаясь при этом стабильным против вибрации, старения влияния погоды и ультрафиолетовых лучей. Благодаря эластичной шовной клеевой накладке поглощаются шум и вибрация.

По технологии утепления стен плитами «URSA» сначала возводится внутренняя – несущая стена из обычного строительного кирпича, затем к ней крепятся теплоизоляционные плиты с помощью крепежных элементов (анкеров, дюбелей, шурупов), потом возводится наружная стена из облицовочного кирпича. Для обеспечения вентиляции утеплителя (удаления из него влаги в виде пара, который может проникать из внутренних помещений) между теплоизоляционными плитами и наружной стеной должен быть обеспечен воздушный зазор.

Основное преимущество конструкций с воздушным зазором – наличие естественно вентилируемого воздушного промежутка, что обеспечивает: вывод из конструкции конденсационной и построечной влаги и защиту теплоизоляционного материала от атмосферных осадков; поддержание утеплителя в сухом состоянии, а это позволяет применять в работе полужесткие минераловатные и стекловолокнистые плиты; в возможность широкого выбора материала облицовки, заключающаяся в снижении требований по паропроницаемости и совместимости с материалом утеплителя. Недостатком такого конструктивного решения является относительно высокая стоимость его устройства.

При строительстве производственных сельскохозяйственных зданий наибольшее распространение получили двухслойные конструкции стен, решенные в ленточной разрезке, в виде панелей повышенной заводской готовности на высоту этажа. Двухслойные стеновые панели состоят из внутреннего защитного слоя из тяжелого или легкого бетона класса В15 толщиной 50 мм, теплоизоляционно-конструкционного слоя из легкого бетона класса В3,5 и наружного фактурного слоя из цементобетонного раствора класса В7,5.

В качестве легкого бетона применяют керамзитобетон, керамзитопенобетон, керамзитоперлитобетон, аглопоритобетон, шлакопемзобетон с маркой по средней плотности D800–D1200. Армируют панели объемными каркасами толщиной 200, 250, 300 и 400 мм. В качестве теплоизоляционного слоя также может быть использован крупнопористый бетон.

Т.И. Барановой с сотрудниками предложена технология изготовления двухслойных элементов для утепления существующих зданий. Утеплителем в них служит пенополистирол. Элементы навешиваются на наклонные анкеры в стенах. Такая конструкция позволяет разнообразить архитектурную выразительность зданий.

Трехслойные конструкции состоят из двух внешних слоев, выполняющих ограждающие и несущие функции, и среднего слоя, обеспечивающего тепло-

звукоизолирующие свойства изделий. Средний слой может быть сплошным при полном заполнении пространства между слоями (например, пенозаполнитель) и дискретным, заполняющим часть рабочего объема (например, засыпка пористым наполнителем).

В зависимости от материала несущих слоев трехслойные конструкции могут быть бетонными, кирпичными, пластмассовыми, металлическими, комбинированными. Комбинированными изготавливаются конструкции, крайние слои которых должны наиболее полно отвечать эксплуатационным требованиям (например, в животноводческих зданиях ограждающие конструкции внутри и снаружи подвержены воздействию различных сред).

По структуре сечения трехслойные конструкции делятся на симметричные, когда крайние слои изготовлены с равной толщиной и из одного материала, и несимметричные, несущие слои которых имеют неодинаковую толщину и изготовлены из разных материалов. Сочетания материалов крайних и среднего слоев могут быть самыми разнообразными. Специалисты отечественной строительной отрасли предлагают широкую номенклатуру материалов для изготовления трехслойных конструкций.

Трехслойные стены, возводимые на строительной площадке с применением в качестве наружных слоев различных видов мелкоштучных изделий и расположенного между ними утеплителя, применяются на протяжении многих лет. Впервые такая конструкция была предложена русским инженером А.И. Герардом в 1829 году, и на ее основе в дальнейшем были разработаны варианты слоистых систем.

Стены системы Н.С. Попова и Н.И. Орлянкина состоят из двух стенок толщиной в $\frac{1}{2}$ кирпича, образующих между собой пространство, засыпаемое шлаком. Через каждые четыре ряда кладки шлаковый слой перекрывают двумя рядами кирпича, связывающими между собой кладку стенок и препятствующими осадке шлака. Те же авторы предложили конструкцию стены, в которой вместо шлака применен легкий бетон, не дающий свойственных шлаку осадок.

В стенах системы Л.А. Серна и С.А. Власова «колодцы» заполняют шлаком или другим легким наполнителем (в двухэтажных зданиях) или легким бетоном. В настоящее время этот тип кладки в России используют с теплоизоляционными плитами.

В западно-европейских странах и США в качестве теплоизоляторов для кирпичных стен широко применяют минераловатные материалы в виде ваты, волокна, матов и плит. Вату в рыхлом состоянии как засыпку используют также в Канаде и Великобритании.

В некоторых странах успешно освоены и применяются на практике кирпичные стены с воздушными прослойками. Примером такой конструкции может служить пустотелая стена общей толщиной 280 мм, состоящая из двух слоев кладки в $\frac{1}{2}$ кирпича каждый и воздушной полости между ними шириной 50 мм, которая является традиционной в Великобритании. Наружный слой выполняется из лицевого кирпича прочностью 360 кг/см^2 , а внутренний – из кир-

пича прочностью от 250 до 375 кг/см². Слои кладки соединяются металлическими скобами через 900 мм по горизонтали и 450 мм по вертикали. Воздушная полость служит для повышения теплоизоляции, а также защиты внутренней стенки при косом дожде.

Помимо стен из штучного кирпича в зарубежных странах нашли достаточно широкое применение кирпичные панели, появлению которых способствовал ряд технических и экономических факторов, в том числе изобретение высокопрочного раствора, большое разнообразие лицевого кирпича, освоение выпуска керамических камней. На сегодняшний день западными фирмами предлагаются кирпичные панели из различных материалов и разнообразных типоразмеров.

Широко продолжают применяться, прежде всего в промышленном строительстве, трехслойные легкие панели типа «сэндвич», которые включают стальные толщиной 0,6–0,7 мм или алюминиевые толщиной 0,8–1,0 мм облицовки, соединенные между собой теплоизоляцией через клеевые швы. Панели изготавливают как на непрерывных линиях, так и стендовым способом. Вертикальные панели крепят к промежуточным ригелям сквозными болтами за обе обшивки. Соединение панелей между собой осуществляется кулачковым или шпунтовым стыком, который уплотняют эластичной прокладкой. Наряду с металлическими обшивками возможно применение асбестоцементных листов толщиной 8 мм или цементно-стружечных плит толщиной 10 мм.

При широкой номенклатуре различных видов материалов для Российской Федерации основными материалами при строительстве зданий различного назначения все же остаются бетон и железобетон, на основе которых было разработано и разрабатывается по сегодняшний день большое количество конструктивных решений трехслойных стеновых панелей.

Отличительной особенностью трехслойных стеновых панелей с железобетонными внешними слоями является то, что утеплитель защищен от механических и атмосферных воздействий и поэтому к материалу утеплителя предъявляются в основном высокие теплотехнические требования и невысокие требования в отношении его прочности и деформативности.

В отечественном строительном комплексе в первые годы использования трехслойных стеновых панелей в качестве теплоизоляционного материала применялись цементный фибролит и минераловатные плиты на фенольной или битумной основе. Однако, как показал опыт производства данных конструкций, средняя влажность минераловатного утеплителя при термообработке панелей возрастала примерно на 2–3%, а средняя плотность – на 12–26%, следствием чего являлось снижение теплозащитных качеств утеплителя. Коэффициент теплопроводности минераловатных плит на фенольной связке с учетом совместного воздействия уплотнения и увлажнения увеличивался на 28–30%, что снижало сопротивление теплопередаче трехслойной стеновой панели с таким утеплителем на 26%.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
Глава 1. СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОГРАЖДАЮЩИМ КОНСТРУКЦИЯМ ГРАЖДАНСКИХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ И АНАЛИЗ ИХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ	6
1.1. Совершенствование теплозащитных требований к ограждающим конструкциям	6
1.2. Основные виды современных многослойных стен	8
1.3. Материалы, применяемые для изготовления многослойных конструкций	22
1.4. Ограждающие конструкции с монолитной связью слоев и утеплителем из низкотеплопроводных бетонов	34
Глава 2. КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ТРЕХСЛОЙНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫМ СЛОЕМ ИЗ НИЗКОТЕПЛОПРОВОДНЫХ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ	38
2.1. Основные принципы конструирования трехслойных панелей, использованных для анализа с теплоизоляционным слоем из бетона низкой теплопроводности.....	38
2.2. Сравнение теплотехнических показателей трехслойных панелей с теплоизоляционным слоем из низкотеплопроводного бетона и ограждающих конструкций массового применения	45
2.2.1. Стеновые панели	45
2.2.2. Панели покрытий.....	46
2.2.3. Панели чердачных перекрытий.....	49
2.3. Определение требуемого сопротивления теплопередаче стен, покрытий и чердачных перекрытий зданий и помещений различного назначения.....	50
2.4. Толщина трехслойных панелей стен, покрытий и чердачных перекрытий с теплоизоляционным слоем из низкотеплопроводных легких бетонов в различных климатических условиях.....	57
2.4.1. Жилые здания, лечебно-профилактические и детские учреждения, школы и интернаты	57

2.4.2. <i>Общественные, административные и бытовые здания и помещения</i>	59
2.4.3. <i>Производственные здания и помещения с сухим и нормальным режимами</i>	66

Глава 3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА МНОГОСЛОЙНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ БЕТОНОВ РАЗЛИЧНОЙ ПРОЧНОСТИ	73
3.1. Анализ экспериментально-теоретических исследований и методов расчета многослойных железобетонных конструкций из различной прочности бетонов	73
3.1.1. <i>Прочность сечений, нормальных к продольной оси элемента</i>	73
3.1.2. <i>Образование трещин, нормальных к продольной оси элемента</i>	75
3.1.3. <i>Ширина раскрытия нормальных трещин</i>	77
3.1.4. <i>Образование трещин, наклонных к продольной оси элемента</i>	78
3.1.5. <i>Прочность наклонных сечений</i>	80
3.2. Развитие методов расчета многослойных железобетонных конструкций	84
3.2.1. <i>Выбор практического метода расчета трехслойных железобетонных конструкций с монолитной связью слоев</i>	84
3.2.2. <i>Численные исследования влияния соотношения начальных модулей упругости бетонов слоев с использованием расчетной модели в виде приведенного двутавра</i>	95
3.2.3. <i>Методика расчета по образованию нормальных трещин в трехслойных железобетонных элементах монолитного сечения</i>	101
3.2.4. <i>Методика расчета по образованию наклонных трещин в трехслойных железобетонных элементах монолитного сечения</i>	107
3.2.5. <i>Методика расчета деформаций в трехслойных железобетонных элементах монолитного сечения</i>	112
3.3. Основы теории структурообразования и расчета трехслойных изделий на основе каркасного керамзитобетона	112
3.3.1. <i>Структурные аспекты формирования трехслойных ограждающих конструкций на основе каркасного керамзитобетона</i>	112

3.3.2. Расчет по прочности и деформациям ограждающих конструкций на основе каркасных бетонов	117
3.3.3. Исследование механики разрушения композитов трехслойного поперечного сечения методом численного моделирования.....	127
3.3.4. Расчет теплопроводности трехслойных конструкций	131
3.3.5. Уплотнение конструкций методом роликового формования.....	136

Глава 4. РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОЛИСТИРОЛБЕТОНА ДЛЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО СЛОЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

4.1. Материалы для изготовления экспериментальных образцов и составы полистиролбетона.....	141
4.2. Сопротивление осевому сжатию полистиролбетона.....	142
4.3. Сопротивление осевому растяжению полистиролбетона.....	145
4.4. Начальный модуль упругости полистиролбетона	146
4.5. Усадка полистиролбетона	148
4.6. Прочность при двухосном сжатии-растяжении полистиролбетона.....	149

Глава 5. РАЗРАБОТКА И ОПТИМИЗАЦИЯ КАРКАСОВ, КЛЕЕВЫХ И МАТРИЧНЫХ СОСТАВОВ ДЛЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ КАРКАСНЫХ БЕТОНОВ

5.1. Крупные пористые заполнители для каркасных композитов.....	154
5.2. Исследование каркасов на цементных связующих	160
5.3. Композиции на основе цементных связующих	163
5.4. Композиции на основе вяжущего из боя стекла	173
5.5. Композиции на основе жидкого стекла	190
5.6. Керамические матричные композиции	197
5.7. Оптимизация составов ячеистых бетонов	203

Глава 6. ПОВЫШЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ.....

6.1. Эффекты физико-химического сопротивления цементных материалов.....	217
6.2. Способы защиты цементных композитов	224
6.3. Повышение физико-химического сопротивления цементных материалов активными к агрессивной среде добавками.....	228

6.4. Повышение физико-химического сопротивления цементных материалов добавками, образующими буферные системы	229
6.5. Оптимизация окрасочных составов на основе эпоксидных связующих для антикоррозионной защиты	233
6.6. Оптимизация окрасочных составов на основе жидкостекольных связующих для антикоррозионной защиты	250
Глава 7. ОПЫТНЫЕ ТРЕХСЛОЙНЫЕ КОНСТРУКЦИИ С ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫМ СЛОЕМ ИЗ ПОЛИСТИРОЛБЕТОНА	260
7.1. Разработка опытных конструкций	260
7.1.1. Стеновые панели	260
7.1.2. Панели перекрытий	263
7.2. Изготовление опытных конструкций	264
7.3. Испытания опытных конструкций	267
7.4. Элементы конструкций	273
7.4.1. Строповочные петли	273
7.4.2. Закладные детали	277
7.4.3. Стыки	282
Глава 8. ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ КАРКАСНОГО КЕРАМЗИТОБЕТОНА	287
8.1. Технология изготовления трехслойных ограждающих конструкций и назначение их размеров для различных зданий	287
8.2. Принципиальная схема изготовления изделий и организация технологического процесса	291
8.3. Приготовление бетонных смесей	293
8.4. Арматура и армирование трехслойных изделий на основе каркасного бетона	297
8.5. Формование изделий	297
8.6. Контроль качества готовых изделий	301
8.7. Внедрение и перспективы использования в строительной отрасли изделий на основе каркасных бетонов	302
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	304

Научное издание

Юрий Михайлович **Баженов**
Елена Анатольевна **Король**
Владимир Трофимович **Ерофеев**
Елена Александровна **Митина**

**ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕТОНОВ
НИЗКОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ**

**(основы теории, методы расчета
и технологическое проектирование)**

Компьютерная верстка: *О.В. Лютова*
Дизайн обложки: *Н.С. Романова*
Редактор: *В.Ш. Мерзлякова*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98. Сдано в набор 17.01.06

Подписано к печати 20.06.06. Формат 70x100/16.

Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная.

Усл. 20 п.л. Тираж 1000 экз. Заказ №

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации – оф. 511
тел., факс: (495)183-56-83, e-mail: iasv@mgsu.ru, <http://www.iasv.ru/>