Оглавление

ВВЕДЕНИЕ 4

Глава 1. СУЩЕСТВУЮЩИЕ СПОСОБЫ ПРОИЗВОДСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ МОДЕРНИЗАЦИИ 6

Глава 2. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ И ОБЩАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ 18

Глава 3. МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ И СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИИ 41

Глава 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ МОНОЛИТНО-СЛОИСТЫХ ИЗДЕЛИЙ 61

Глава 5. РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА МОНОЛИТНО-СЛОИСТОГО БЛОКА С ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНОЙ 81

Глава 6. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА МОНОЛИТНО-СЛОИСТЫХ СТЕНОВЫХ БЛОКОВ МЕТОДОМ ОБЪЕМНОГО ПРЕССОВАНИЯ 87

Глава 7. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА СТЕНОВЫХ БЛОКОВ 97

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 105

Библиографический список 106

ПРИЛОЖЕНИЯ 112

ВВЕДЕНИЕ

При переходе к новым требованиям по теплозащите использование однослойных ограждающих конструкций стало малоэффективным. Наиболее реальный и перспективный выход из создавшегося положения — применение трехслойных стеновых изделий. Однако применяемые в настоящее время подобные изделия имеют ряд существенных недостатков: быстрый выход из строя утеплителя при эксплуатации; образование напряжений на границах соседних слоев; связи, объединяющие наружные слои, образуют «мостики холода» и требуют дополнительных затрат на защиту от коррозии и др. Кроме того, технологии изготовления трехслойных изделий отличаются повышенной трудо- и энергоемкостью, снижающей эффективность их применения.

Возможный способ устранения указанных недостатков — переход на выпуск энергоэффективных и технологичных стеновых монолитно-слоистых изделий с плавной переходной зоной между соседними слоями, получаемых за один технологический прием методом объемного прессования, при котором отжимается свободная вода и уплотняется изделие. Среди существенных преимуществ таких изделий следует выделить снижение расхода рабочей арматуры за счет передачи нагрузки не только на внутренний несущий слой, а на сечение в целом, уменьшение трудоемкости изготовления и повышение долговечности.

Целью исследований стали разработка технологии производства эффективных стеновых монолитно-слоистых изделий методом объемного прессования и определение основных эксплуатационных показателей изделий.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи: обосновать возможность получения эффективного стенового изделия методом объемного прессования; изучить механизм надежного соединения конструкционных и теплоизоляционного слоев при создании переходных зон в процессе объемного прессования масс; исследовать функциональные зоны трехслойного стенового изделия; найти оптимальные технологические параметры; определить основные эксплуатационные показатели монолитно-слоистых изделий; исследовать кинетику процесса структурообразования цементного камня, находящегося в обжатом состоянии; разработать технологию изготовления трехслойных из-

делий из бетонов различной плотности; провести производственную апробацию полученных результатов.

В главе 1 произведен анализ существующих способов производства многослойных изделий как в России, так и за рубежом. Рассмотрены их положительные и отрицательные стороны, а также потенциальные возможности для повышения эффективности производства и улучшения свойства конечной продукции; приведены количественные данные об эффективности от использования теплоизоляционных материалов в многослойных конструкциях.

Описанию научной части и общей методике проведения исследования посвящена глава 2. Здесь подробно описаны физические, химические и физико-химические процессы, происходящие при объемном прессовании в формах и способствующие повышению прочности монолитно-слоистых изделий.

Лабораторные испытания и построение математической модели технологии описаны в главе 3. В графической форме приведен ряд зависимостей, позволяющих судить о влиянии на конечные свойства изделий различных технологических параметров.

В главе 4 собраны данные по результатам испытаний полученных многослойных образцов на прочность, сжатие, термическое сопротивление, сопротивление паропроницанию и среднюю плотность, а также на прочность сцепления слоев друг с другом.

Большое практическое значение имеет расчет температурно-влажностного режима работы ограждения из разработанных изделий в погодных условиях г. Москвы, данный в главе 5. Вычислено положение точки росы, а также количество конденсата, выпадающего в толще ограждения за зимний период года, и время, в течение которого произойдет удаление влаги из конструкции в теплое время года.

В главе 6 подробно описан технологический процесс производства разработанных изделий с детальной проработкой каждого технологического передела и оптимальной рецептурой для получения качественных изделий при минимальном расходе средств.

В главе 7 при расчете параметров экономической эффективности производства использованы данные на начало 2015 г. Также определена себестоимость продукции с учетом расходов на заработную плату, аренду помещения, амортизацию производственных фондов, налоговые отчисления и расходы по содержанию цеха; вычислена рентабельность производства и срок окупаемости вложенных средств.

Глава 1

СУЩЕСТВУЮЩИЕ СПОСОБЫ ПРОИЗВОДСТВА МНОГОСЛОЙНЫХ ИЗДЕЛИЙ И ВОЗМОЖНОСТИ ИХ МОДЕРНИЗАЦИИ

Несмотря на то, что наша страна является одной из ведущих в мире по производству энергии, она значительно уступает странам с высоким уровнем экономического развития в вопросах рационального использования энергоресурсов. Сейчас во всем мире более важной задачей стало энергосбережение, нежели увеличение объемов производимой энергии. В России на отопление зданий ежегодно расходуется 240 млн т условного топлива (т у. т.), что приблизительно равняется 20 % от общего расхода тепловых ресурсов в стране. Эффективное снижение энергозатрат на отопление требует комплексного подхода к решению этой проблемы. Потери энергии начинаются еще при подаче тепла потребителям с ТЭС. В настоящее время они оцениваются в 20...25 % от всей потребляемой энергии, что составляет в год 60 млн т у. т. В Европе за счет использования эффективной теплоизоляции тепловых сетей этот показатель в 1,5...2 раза ниже. При снижении расхода топлива на отопление падает содержание CO_2 и уменьшается так называемый парниковый эффект. Исследования, проведенные в Англии, показали, что в расчете на 1 м^2 строительной площади при использовании 5 см эффективных изоляционных материалов через 50 лет содержание в атмосфере CO_2 сократится на 1 т. Выгода оказывается более значительной, если принять во внимание объем всей жилой площади и те преимущества, которые обусловлены повышенной комфортностью производственных и жилых помещений. В этой связи одной из важнейших задач на сегодня является обеспечение надежной и качественной теплозащиты зданий, обеспечивающей ресурсо- и энергосбережение, увеличивающей комфортность пребывания в зданиях и снижающей выбросы CO_2 в окружающую среду [51; 104].

Для этого с наступлением нового тысячелетия в нашей стране для вновь возводимых зданий вступили в силу требования второго этапа энергосбережения, установленные изменением № 3 к СНиП II-3—79 «Строительная теплотехника» (с 01.01.2000 г.) и СНиП 23-02—2003 «Тепловая защита зданий» (с 01.10.2003 г.) [71],

расширяющие возможности в выборе технических решений и методов соблюдения нормируемых показателей. В соответствии с этими документами приведенное сопротивление теплопередаче покрытий, стен, а также чердачных перекрытий над холодными подвалами и подпольями повышено в 1,2...1,75 раза в сравнении со значениями первого этапа, а в целом в сравнении с ранее действующими нормами — в 3...3,5 раза. Данное обстоятельство повлекло за собой пересмотр всех имеющихся конструктивных решений ограждений с целью повышения эксплуатационной долговечности и улучшения теплоизоляционных свойств.

При переходе к новым стандартам теплозащиты оказалось малоэффективным использование однослойных ограждающих конструкций из легких и ячеистых бетонов, а также кирпичных и деревянных, из-за существенного увеличения их толщины и, как следствие, массы, материало-, энергоемкости и стоимости.

Наиболее эффективным и реальным выходом из сложившегося положения стало создание многослойных (двух- и трехслойных) изделий с применением высокоэффективных теплоизоляторов, преимущественно волокнистых и пенопластовых. Такой путь выбирает большинство развитых стран [34; 35; 40].

К двухслойным относятся системы типа «мокрый» фасад (с наружным штукатурным слоем), системы типа вентилируемый фасад (с воздушным зазором) и системы, в которых используется несъемная опалубка.

Способ наружной теплоизоляции стен с оштукатуриванием утеплителя заключается в механическом креплении или приклеивании к стенам теплоизоляционных плит и нанесении на них цементной штукатурки или полимерцементного покрытия, армированных сетками из стали или стекловолокна [101]. В зависимости от крепления к несущей стене разные способы нанесения теплоизоляционного материала и его типа предлагают такие производители, как «Истрокон», АОЗТ «Терком», *Senergy*, *Zolpan*, Неск (Германия) [87], *Cegecol Casco Nobel France* (Франция) и др. К основным недостаткам подобных систем относят необходимость использования помостей, строительных лесов, люлек и прочего монтажного оборудования; сильное влияние погодных условий на штукатурные работы, ограничивающее время монтажа. Системы с наружным штукатурным слоем отличаются от систем с воздушным зазором отсутствием ограничений по толщине применяемого утеплителя, монтируемого к стене дюбелями, а также тем, что для защиты те-

плоизоляционного слоя используют фасадные плиты, производимые из разных материалов. Листы (плиты) крепятся на подоблицовочную конструкцию, которая состоит из опирающихся непосредственно на стену кронштейнов, а также несущих профилей, монтируемых на кронштейны, к которым при помощи специальных крепежей прикрепляются листы (плиты) облицовки. Между утеплителем и фасадными плитами дополнительно предусмотрено создание воздушного зазора толщиной не менее 40 мм. К отрицательным качествам вентилируемых фасадов следует отнести теплотехническую неоднородность из-за большого количества металла, а также зависимость от противопожарных норм, в соответствии с которыми максимально возможное расстояние между облицовкой и утеплителем не может быть более 100 мм, а для высотных зданий отклонения по высоте могут составлять значения, превышающие 60 мм. Также аэрозольная конденсация приводит к закрытию вытяжных и приточных отверстий и образованию сосулек на наружной поверхности, препятствующих режиму нормальной вентиляции. Основные производители таких систем, поставляющие на российский рынок свою продукцию, — АЛКОН ТРЕЙД (U-kon), ДИАТ, ТЕХНОКОМ, МОСМЕК, ГРАНИТОРГЕСС, завод металлоконструкций (КТС) (Россия), EUROFOX (Австрия), SLAVONIA (SPIDI), WAGNER-SYSTEM (Германия) [87].

В основу технологии монтажа изделий конструкций с использованием несъемной опалубки заложен принцип конструктора «Лего». В качестве кубиков выступают пустотелые блоки пенопласта (ДСП, ЦСП), имеющие специальные пазы, при помощи которых они прочно и легко сцепляются друг с другом. После этого блоки армируются и наполняются бетоном. В итоге без значительных затрат усилий, времени и средств создается монолитная железобетонная стена, построенная исключительно из экологичных материалов и обрамленная с обеих сторон звуко-, гидро- и теплоизоляционной оболочкой [101]. Поставками несъемной опалубки на отечественный рынок занимаются ПК «Марс» (система «Полиблок»), ЗАО компания «Теплостен», Мосстрой-31, а также другие производители [97—99; 101; 109]. Тем не менее ее применение ограничено из-за трудоемкости получения однородной структуры при заливке бетона и необходимости заливки бетона в несколько рядов, а не сразу. Это не рентабельно и довольно не практично. В пенопластовую стену невозможно забить гвозди и т.п. Срок службы данных конструкций составляет 10...20 лет. Трехслойные стеновые на-

ружные конструкции жилых, промышленных, общественных и сельскохозяйственных зданий применяются различного вида, с наружными слоями из тяжелого, легкого бетона и кирпича [17]. В качестве утеплителя используются теплоизоляционные материалы (стекловолокнистые, минераловатные и полимерные), перечень которых приведен в СНиП 23-02—2003. Внутренние и наружные слои трехслойных панелей соединяются между собой с помощью различных типов связей (жестких, гибких). Стены в зависимости от восприятия нагрузки от здания бывают несущими, ненесущими и самонесущими. Несущие — это стены, воспринимающие нагрузки от других частей здания (крыш, перекрытий) и передающие их фундаментам вместе с собственной массой. Самонесущие — это стены, опирающиеся на фундаменты, но при этом несущие нагрузку лишь от собственной массы. Ненесущие (навесные) — это стены, воспринимающие нагрузку только от собственной массы в пределах одного этажа и являющиеся ограждениями, опирающимися на другие элементы каркаса на каждом этаже здания.

По результатам исследований, проведенных в ЦНИИЭП жилища [77], составлено несколько основных способов утепления зданий. В качестве исходного тезиса принято, что конструкция стен должна быть многослойной с применением эффективного утеплителя независимо от основного материала, его составляющего. Практика проектирования и расчеты показали, что эффективным может считаться утеплитель, обладающий теплопроводностью не выше 0,09 Вт/(м·°С). Очевидно, что на выбор эффективного утеплителя для ограждающих конструкций существенно влияет вид строительства. Трехслойные стены, которые возводятся на стройплощадке с применением в виде наружных слоев разных видов мелкоштучных изделий и установленного между ними теплоизолятора, используются на протяжении многих лет. Впервые такую конструкцию предложил русский инженер А.И. Герард в 1829 г., в дальнейшем, приняв ее за основу, были разработаны варианты многослойных систем. Отличительная особенность трехслойных изделий — защита утеплителя от атмосферных и механических воздействий наружными слоями. Вследствие этого к нему можно не предъявлять высокие требования по прочности, деформативности и теплотехнике.

В США и странах Западной Европы в качестве теплоизоляционных слоев кирпичных стен широко используют минераловатные

материалы в виде волокна, ваты, плит и матов. Рыхлую вату в качестве засыпки применяют еще в Великобритании и Канаде. Кроме того, по данным аналитического обзора, проведенного Е.А. Король, в некоторых странах небезуспешно применяются кирпичные стены с прослойками из воздуха [5].

Трехслойные панели толщиной 450 мм с гибкими связями, включающие минераловатный утеплитель и тяжелый бетон в качестве несущих слоев, обладают приведенным сопротивлением теплопередаче до 4,0 $м^2$ К/Вт. В качестве примера подобных изделий могут быть рассмотрены стеновые панели, которые производит ОАО «Спецстройбетон — ЖБИ № 17» (г. Москва) [94].

На Краснопресненском заводе ЖБИ выпускают стеновые панели с наружными слоями из бетона на керамзитовом гравии с применением теплоизолятора в трехслойном исполнении, имеющие повышенные теплозащитные свойства. Наружная часть панели должна соответствовать эстетическим нормам: внешнюю поверхность изделия с этой целью облицовывают стеклянной эмалью, керамической плиткой и камнем, наносят фактурный слой путем накатки рифлений. Массовый выпуск наружных стеновых блоков осуществляется с использованием гибких металлических связей, имеющих повышенные технологические свойства. В качестве утеплителя на предприятии используется полистирольный пенопласт [105].

Аналогичной конструкцией обладают многослойные блоки «Теплостен» [93], производимые методом литья с применением керамзитобетона и теплоизоляционных вкладышей из вспененного пенополистирола. Разница состоит в том, что в качестве материала лицевой декоративной отделки используется обычный или объемно окрашенный мелкозернистый бетон.

К недостаткам таких изделий следует отнести существенную теплотехническую неоднородность конструкций, что обусловлено наличием по периметру панелей сквозных ребер жесткости, оконного и дверного проемов, различного вида связей и закладных деталей.

ОАО «Жилищная ассоциация «Раменье»» (г. Раменское Московской области) [102] в процессе строительства многоэтажных домов применяет трехслойные кирпичные стены с использованием поэтажных навесных фасадных слоев либо целиком навесных наружных стен. В этом случае в наружных стенах домов серии В-2000

создается сложная слоистая структура. В качестве основы наружной стены используется железобетонная панель толщиной 160 мм, которая жестко связана с несущей конструкцией для увеличения прочности дома в целом. Полимерная теплоизоляция позволяет исключить промерзание панели, а при помощи кирпичной кладки образуется финишный, декоративный, слой.

Для применения в виде теплоизоляционного слоя многослойных конструкций в НИИЖБ исследован поризованный арболит с использованием древесной дробленки [66]. Средняя плотность полученного бетона составляет 500...600 кг/м^3 при прочности на сжатие 1,5...3,5 МПа. Такой бетон обладает теплопроводностью 0,096...0,12 Вт/м °С. В качестве основного преимущества арболита в сравнении с другими видами низкотеплопроводных бетонов следует выделить относительно высокую прочность при довольно низкой теплопроводности.

Трехслойные панели типа «сэндвич» представляют собой прочные модульные строительные изделия, которые обычно применяют для устройства внешних и внутренних стен зданий, кровельных и потолочных перекрытий. Главным достоинством таких панелей является то, что они обладают высокими теплоизоляционными свойствами и таким образом позволяют значительно уменьшить толщины стен и перегородок при строительстве, увеличивая полезную площадь здания. Их вес очень мал, поэтому монтаж занимает немного времени и не требует больших усилий.

«Сэндвич-панели» состоят из облицовки (существуют ее различные вариации, но наиболее популярна облицовка, состоящая из двух стальных профилированных листов, окрашенных или оцинкованных) и из теплоизоляционного слоя, как правило, из пенополистирола либо минераловатного утеплителя. Основной проблемой при монтаже «сэндвич-панелей» является обеспечение их удачного стыка (т.е. без зазоров), так как он влияет и на прочность соединения элементов конструкции (при небольших зазорах может проникнуть холодный воздух), и на наивысшую плотность конструкции. «Сэндвич-панели», кстати, способны изменять свои размеры при колебании температур. В этой связи нужно брать в расчет эту особенность и наиболее плотно подгонять стыки, углы и швы, чтобы исключить деформацию всей системы [47].

В зарубежных странах с целью изготовления внешних слоев в трехслойных конструкциях применяется стеклофибробетон. Глав-

ным фактором, влияющим на его выбор, является сокращение массы таких конструкций в сравнении с железобетонными [95].

В последние годы широко распространяются карбамидные пенопласты — пеноизолы [96]. Пеноизол — застывшая пена, имеющая замкнутые поры, — обладает хорошей адгезией к кирпичу, металлическим и бетонным поверхностям. С позиций пожарной безопасности пеноизол считается лучшим из всех строительных материалов на основе полимеров. По данным института химической физики РАН, данный материал обладает практически неограниченным сроком надежной работы в качестве ненесущего слоя трехслойных конструкций зданий и сооружений при любых изменениях условий эксплуатации в пределах исследованного диапазона показателей (температура от –30 до +40 °С, относительная влажность 75 % при температуре +40 °С). Пеноизол, обладая разными плотностями и физико-механическими свойствами, под разными торговыми названиями широко применяется и за рубежом.

Однако большинство вышерассмотренных стен с утеплителями из различных материалов вскоре после начала эксплуатации выходят из строя из-за деструкции утеплителя. В то время как гарантированная долговечность утеплителя составляет 25 лет, фактическое его разрушение происходит гораздо раньше. Это обусловлено накоплением конденсата в толще утеплителя или на границе слоев из-за разных значений коэффициентов паропроницаемости соседних слоев, что приводит к уменьшению тепловой защиты материалов и скорому выходу их из строя. После 15 лет эксплуатации на $^1/_3$ снижались теплозащитные свойства стен, в то время как в зимний период утеплитель обладал уровнем влагонасыщения существенно выше уровня нормируемого. Также связи, соединяющие внешние несущие слои, образуют «мостики холода», таким образом снижая коэффициент теплотехнической однородности конструкции и увеличивая дополнительные расходы на антикоррозийную обработку. Еще к недостаткам трехслойных конструкций с гибкими связями следует отнести повышенную трудоемкость монтажа из-за раскладки утеплителя вручную и необходимость защиты полимерного материала с целью обеспечения противопожарной безопасности по периметру негорючим минераловатным слоем. При этом дополнительные сложности по обеспечению проектного качества создают протечки бетонной смеси в стыки между плитами утеплителя и участки, на которых расположены каркасы, что способствует образованию «мостиков холода».

К эффективным путям устранения этих недостатков относится использование трехслойных ограждающих изделий с наружными слоями из конструкционных бетонов и средним слоем из бетонов, обладающих низкой теплопроводностью [62; 63]. Отличительная особенность изготовления таких изделий — последовательная укладка слоев в одном технологическом цикле, что позволяет обеспечить надежное сцепление и отказаться от установки дискретных железобетонных или стальных связей между слоями. Существенным преимуществом таких изделий перед трехслойными изделиями, при производстве которых используются гибкие связи, является сокращение расхода рабочей арматуры за счет того, что нагрузка передается не на один внутренний несущий слой, а на сечение целиком [42; 108], а также то, что их использование приводит к сокращению трудоемкости изготовления, повышению степени пожаростойкости за счет применения несгораемого утеплителя и долговечности [41]. В наше время известно большое количество бетонов, имеющих низкую теплопроводность, но лишь немногие из них могут быть использованы в качестве теплоизоляционного слоя в трехслойных панелях, которые формируются в едином технологическом цикле. К основным требованиям, предъявляемым к таким бетонам, относят достаточную прочность в свежеуложенном состоянии с целью выдерживания нагрузки, создаваемой вышележащим слоем, гидравлическую активность вяжущих, однородность структуры, безавтоклавное твердение. Основываясь на этих показателях, становится невозможным применение полимербетонов на легких пористых заполнителях, так как их твердение происходит в течение нескольких часов.

По данным исследований, которые проводились в различных научно-исследовательских лабораториях, установлено, что к наиболее подходящим для использования в качестве теплоизоляционного слоя в трехслойных конструкциях бетонам относятся крупнопористый бетон, полистиролбетон, перлитобетон и их разновидности.

В ЦНИИЭП жилища [77], НИИЖБ [45; 66] и МГСУ (МИСИ) [5; 39; 40] были изучены теплоизоляционные бетоны, имеющие среднюю плотность до 400 кг/м^3, содержащие в качестве заполнителя перлит на разных видах вяжущих. Однако фактором, сдерживающим применение этих бетонов на современном этапе теплозащиты зданий, является высокая теплопроводность. Кроме того, недостатками этих бетонов считаются повышенная хрупкость, зна-

чительное водопоглощение, достигающее 30 %, заметная усадка и высокая влажность свежеуложенной смеси (67...75 %).

Исследования, направленные на определение возможности использования крупнопористого керамзитобетона, обладающего низкой прочностью, в качестве теплоизоляционного слоя в трехслойных конструкциях, выявили, что он обладает такими отрицательными качествами, как сложность создания вокруг зерен заполнителя заданной оболочки из цементного теста, что может привести к расслаиванию бетонной смеси, получению неоднородной средней плотности и прочности. Помимо этого ему свойственны повышенная теплопроводность и средняя плотность. В отличие от своих конкурентов, полистиролбетон не имеет недостатков, ограничивающих его использование в качестве теплоизоляционного слоя в трехслойных изделиях. В этой связи, для того чтобы обеспечить возросшие требования к сопротивлению теплопередаче ограждений, его применение видится наиболее перспективным.

Полистиролбетон исследуют более 40 лет. За этот период накоплены многочисленные данные экспериментов по определению физико-механических свойств этого материала [100].

Исследования полистиролбетона велись по двум направлениям. *Первое* направление включает изучение технологических особенностей его изготовления с определением наиболее оптимальных составов при контролируемых значениях прочности (главным образом кубиковой) и средней плотности. К физико-механическим свойствам, которые преимущественно выявляли в этих исследованиях, относятся теплопроводность, водопоглощение и влажность, значительно реже — деформативные и прочностные характеристики (призменная прочность, модуль упругости и прочность на растяжение).

Ко *второму* направлению относится изучение деформативных и прочностных свойств, которыми обладает полистиролбетон, с целью проектирования и расчета конструкций. В процессе этого, как правило, были использованы технологически отработанные составы и установлены зависимости между различными деформативными и прочностными характеристиками полистиролбетона, которые используются для расчета конструкций [2].

Также был накоплен опыт эксплуатации конструкций различного назначения из него. Для того чтобы облегчить проектирование и широко применять современные ограждения с использованием

полистиролбетона, в действие был введен ГОСТ Р 51263—99 «Полистиролбетон. Технические условия» [61].

Полистиролбетон относится к классу легких бетонов. Это теплоизоляционный материал, состоящий из портландцемента, кварцевого песка, теплоизоляционного заполнителя «пенопластовые шарики», а также модифицирующих добавок. Различают поризованный, плотный и крупнопористый полистиролбетон. Данному материалу присущи самые низкие для цементных бетонов значения средней плотности (150...250 кг/м^3), теплопроводности (0,055...0,075 Вт/м °С) и эксплуатационной влажности (4...8 %) для условий эксплуатаций А и Б по СП 23-101—2004 «Проектирование тепловой защиты зданий». К его положительным качествам следует отнести снижение трудо- и материалоемкости, высокую технологичность строительства, долговечность, превышающую 100 лет, и увеличенную морозостойкость. Полистиролбетон не привлекает грызунов (в отличие от пенопласта и дерева), гигиенически и экологически безопасен, не подвергается гниению, не горюч.

Еще одна особенность полистиролбетона состоит в том, что он обладает повышенной относительной призменной прочностью из-за повышенной его растяжимости в сравнении с другими видами бетона, так как образование поперечных трещин и их раскрытие происходят при поперечном растяжении. В процессе применения полистиролбетона в качестве теплоизоляционного слоя в трехслойных панелях технология их производства осуществляется следующим образом. На первом этапе в подготовленные формы (чтобы не нарушать проектных размеров слоев, на борта опалубки наносят полосы, соответствующие толщине каждого из слоев) укладывают нижний слой, далее — средний слой (полистиролбетон). Каждый слой при этом уплотняется в течение 30...40 с на вибростоле. В процессе исследований удалось установить, что оптимальный период выдержки между укладкой соседних слоев колеблется от 20 мин до 2 ч [62]. Следом происходит укладка верхнего слоя (конструкционный бетон), уплотнение которого также происходит на вибростоле и длится не более 15...20 с для исключения его перемешивания со средним слоем. После окончания формования и выдерживания в течение 1 ч происходит пропаривание изделий в камерах ямного типа по следующему режиму: подъем температуры — 1 ч, изотермическая выдержка при температуре 60 °С — 7 ч, остывание — 2 ч. В процессе производства в качестве заполнителя полистиролбетона во всех конструкциях использовался вспененный

полистирол фракций 5...10 и 10...20 мм насыпной плотностью 25...42 кг/м^3. Безусловным положительным качеством совместного применения в трехслойных панелях керамзитобетона с полистиролбетоном являются близкие по значению коэффициенты их паропроницаемости (0,11...0,14 мг/м·ч·Па — керамзитобетон и 0,1...0,12 мг/м·ч·Па — полистиролбетон). Таким образом, влагоперенос через композиционное изделие наиболее приближен к влагопереносу через однослойную конструкцию, в которой нет преград для удаления влаги летом. Также в бетонах на легких заполнителях создается контактная зона, которая в 1,6...2,5 раза прочнее, чем у тяжелого бетона. Это происходит из-за взаимодействия между вяжущим и активным веществом заполнителя, результатом чего является увеличение целостности и монолитности изделия. Экспериментально было установлено, что целесообразнее всего применение полистиролбетона марок по средней плотности D150...D300 и керамзитобетона средней плотности 1000...1400 кг/м^3. При применении тяжелого бетона в качестве несущих слоев нужно обеспечить дополнительную пароизоляцию, чтобы предотвратить снижение комфортности жилья.

Тем не менее, несмотря на обилие положительных качеств, в процессе эксплуатации трехслойных панелей с полистиролбетонным утеплителем на границах соседних слоев появляются напряжения. Это связано с тем, что наружные слои ограничивают свободную усадку среднего слоя. Также вследствие низкой прочности бетона в соединительных гребнях нет возможности получения фасонных изделий. Отличиями технологического цикла производства данных изделий являются повышенная длительность и большой расход энергоресурсов.

Среди возможных путей устранения недостатков — создание моносистем, в структуре которых несущий и теплоизоляционный слои проникают друг в друга [57; 73—75].

Наиболее эффективным видится производство таких систем методом объемного прессования, в ходе которого используются потенциальные энергетические возможности полистирола [56].

Способ осуществляется следующим образом. В перфорированную форму укладывают керамзитобетон, затем слой полистиролбетона с содержанием предварительно подвспененных гранул полистирола и сверху — наружный бетонный слой. Далее форму закрывают крышкой, и масса подвергается электропрогреву через металлические электроды, расположенные на противоположных

сторонах формы. Нагретый выше 80 °С полистирол начинает вспениваться, в ходе чего слои приштамповываются друг к другу. Развиваемое в замкнутом объеме давление доводит количество воды затворения с помощью механического отжатия до значений, близких к теоретически необходимым для гидратации вяжущего, создавая более прочную структуру бетона и ускоряя его тепловую обработку.

При использовании метода объемного прессования происходит отказ от виброобработки свежеуложенной смеси. Данный способ дает возможность при относительно небольшом давлении, возникающем внутри массы, получить равномерную прочность и плотность по всему объему изделия, которые при ее формовании виброуплотнением получить практически невозможно. Кроме этого, благодаря способности самоуплотняющихся масс к отжатию через перфорации форм воды затворения создаются условия для использования очень подвижных (литых) смесей, что дает возможность заполнить опалубку монолитных конструкций бетонной массой без использования средств принудительного воздействия. Изделия, которые производятся данным способом, не ограничены в выборе объема и конфигурации.

Подводя итог вышесказанному, можно заключить, что создание моносистем с переходной зоной между основными слоями при помощи метода самоуплотняющихся масс вместо традиционных трехслойных изделий дает значительные преимущества и является достаточно актуальным для строительной индустрии в условиях современной конъюнктуры.

Глава 2

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ И ОБЩАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Обоснование необходимости формирования переходной зоны

Анализ данных показывает, что задача по обеспечению неразъемного и надежного соединения несущих слоев с теплоизоляционным слоем при производстве многослойных строительных элементов является актуальной.

Выполнение многослойного строительного изделия в виде монолита, имеющего неразъемное соединение непосредственно по контактным поверхностям между наружными слоями и средним слоем, позволяет упростить конструкцию элемента, обеспечить надежное крепление теплоизоляции внутри изделия, предотвратить ее деформации при изменении механических и температурно-влажностных воздействий.

Кроме того, при создании переходных слоев повышается конструктивная прочность многослойного стенового изделия, уменьшаются перепады температур при переходе от теплоизоляционного слоя к несущему при его эксплуатации, происходит более равномерное распределение влаги, выделяющейся в зоне конденсации (особенно во время суточных колебаний температуры). Также происходит улучшение эксплуатационных свойств, связанных с монтажом, транспортировкой и хранением стеновых элементов при обеспечении более жестких, равномерно переходящих связей между слоями.

Формирование переходной зоны в процессе вибрационного уплотнения

С позиции надежности и качества работы слоистого монолитного изделия наиболее привлекательна идея создания переходной зоны в процессе вибрационного уплотнения слоев. Но при изучении механизма виброуплотнения бетонной смеси, содержащей зерна пенополистирола, необходимо учитывать, что, хотя распространение колебаний в полистиролбетоне по характеру напомина-

ет тот же процесс в легкобетонных смесях, в количественном соотношении между ними наблюдаются существенные различия. Они состоят в том, что на скорость распространения упругих волн, наряду с другими факторами, влияют упругие постоянные и плотность тела [41]. Массовая плотность смеси из тяжелого бетона составляет $0{,}24 \cdot 10^{-5}$ кг·с^2/см^4, смеси из керамзитобетона — $0{,}18 \cdot 10^{-5}$ кг·с^2/ см^4, а минерально-полистирольной смеси — $0{,}3 \cdot 10^{-6}$ кг·с^2/см^4, что почти в 10 раз меньше. В минерально-полистирольной смеси, имеющей среднюю плотность 400 кг/м^3, около 80 % объема занято пенополистирольными зернами, их модуль упругости в 300 раз меньше модуля упругости керамзитового гравия и примерно в 2400 раз — гранитного щебня. Под действием этого в подобных смесях коэффициент затухания волновых колебаний принимает достаточно высокие значения и, следовательно, снижается эффективность от использования вибрации. Таким образом, режим вибрационного уплотнения минерально-пенополистирольных масс должен быть более интенсивным, а при расчете величины давления пригруза должно учитываться напряженно деформированное состояние пенополистирола. Управление и регулирование обоими факторами чрезвычайно сложно осуществить. Также при таком методе уплотнения масс не обеспечивается оптимальная плотность межгранульного материала. Наряду с этим присутствуют перепрессовка, неравномерность уплотнения и последствия того, что деформации пенополистирола упругие, что в общем снижает механические показатели изделий [58].

Поэтапное использование вибрации после укладки каждого слоя и незначительное проникновение теплоизоляционного слоя в плотные слои снижают эффективность применения представленного способа.

Еще одной важной задачей является снижение водоцементного отношения. В процессе испарения воды затворения происходит ухудшение основных свойств изделий из-за образования развитой сети капиллярных пор, которые ослабляют «рабочее сечение» изделий и способствуют концентрации напряжений в отдельных микрообъемах материала. С целью обычного снижения влажности при сохранении заданных значений пластично-вязких свойств применяют различные приемы: подбор грансостава компонентов, интенсивную вибрацию, введение поверхностно-активных веществ и т.д. Но они лишь снижают, а не устраняют недостатки, при этом усложняя технологию. Использованием этих приемов стараются

Конец ознакомительного фрагмента.
Приобрести книгу можно
в интернет-магазине
«Электронный универс»
e-Univers.ru