

Изучение опыта регулирования свойств строительных изделий и конструкций путем направленного формирования их вариатропной структуры

*М.П. Нажуев, А.В. Яновская, М.Г. Холодняк,
А.К. Халюшев, Е.М. Щербань, С.А. Стельмах*

Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону

Аннотация: В статье рассмотрены способы направленного формирования вариатропной структуры бетонных изделий и конструкций. Изучен опыт отечественных ученых в вопросах получения изделий различной плотности по сечению. Рассмотрены вопросы технологии получения изделий различной плотности по сечению, основные принципы формирования вариатропной поровой структуры газобетона для монолитных ограждающих конструкций, оптимальные схемы формования двухслойных стеновых изделий из бетонов различной плотности, формирование структуры с двойным каркасом – минеральным и полимерным – за счет спекания зерен пенополистирола, формирование вариатропного строения магнезиального пенобетона, предусматривающего последовательную укладку пеномасс с различной средней плотностью, перспективность применения железобетонных конструкций вариатропной структуры.

Ключевые слова: вариатропная структура, бетонные изделия и конструкции, железобетон, газобетон, пенобетон, керамзитобетон, плотность, огнестойкость

Технология изготовления вариатропных бетонных изделий и конструкций успешно проверена на ряде предприятий. Вариатропная структура целесообразна для стен и плитных покрытий, перекрытий. Она предпочтительна, когда на плиту не воздействует агрессивная внешняя среда. В конструкциях, работающих на изгиб, наиболее нагруженными являются сжатая и растянутая зоны. Обе располагаются в поверхностных слоях плиты, а центр не подвергается серьезным напряжениям. Это относится в определенной степени также к внутренним несущим перегородкам, которые работают на продольный изгиб. Вариатропная структура позволяет повысить у плиты несущую способность, снизить толщину и прогиб под нагрузкой, уменьшить расход арматуры [1].

Вопросам технологии изготовления изделий с различной плотностью по сечению посвящены работы многих ученых.

В.А. Булавин [2] установил, что создать газобетонные ограждающие конструкции, обеспечивающие заданную несущую способность и необходимые звуко- и теплоизоляционные характеристики представляется возможным формированием вариатропной поровой структуры у бетона за счет рецептурно-технологических факторов при формировании изделий; применения специальной системы опалубки, которая обеспечивает изделиям послойное формирование; режимов изготовления монолитных конструкций, которые обеспечат слитную структуру и однородный по высоте бетон, вариатропность по толщине изделия поровой структуры; применения оборудования, для непрерывного формирования массива газобетона и оперативного управления рецептурно – технологическими факторами при заливке смеси в опалубку.

Одной из важнейших технологических задач является изготовление ограждающих конструкций переменной плотности по толщине из одного и того же материала, то есть вариатропных конструкций. Он сформулировал основные принципы формирования вариатропной поровой структуры газобетона в монолитных ограждающих конструкциях.

Конструкция должна состоять из 3-х слоев, каждый из которых должен выполнять определенные функции: наружный защитный слой из конструкционного газобетона; теплоизоляционный слой из газобетона; внутренний несущий слой из конструкционного газобетона.

Каждый слой должен состоять из газобетона однородной поровой структуры. Структура газобетона в конструкции должна быть слитной и не должна иметь резких границ между слоями. Переходные контактные зоны между различными слоями конструкции должны обеспечить плавный переход от плотной поровой структуры к поровой структуре, обеспечивающей низкую плотность газобетона. Ширина переходного контактного слоя должна быть оптимизирована исходя из условий

отсутствия резких границ между слоями и обеспечения плавного перехода между разноплотными слоями. Определен диапазон варьирования рецептурных факторов, соответствующий заданным значениям технических параметров, характерных для конструкционно-теплоизоляционных бетонов.

Формирование поровой структуры переходной контактной зоны разноплотных слоев газобетона сводится к оптимизации времени подъема перегородок между отсеками опалубки и процессов образования газобетонной смеси в этих слоях.

Е.С. Корнев в своей работе [3] предложил оптимальные схемы формирования стеновых двухслойных изделий, изготовленные из бетонов с различной плотностью, определил толщину теплоизоляционных и конструкционных слоев; режимы процесса производства таких изделий; схемы с расположением блоков, распределение температурных зон в стенах с использованием этих изделий.

Модели такого бетона приняты им, учитывая формирование четкой границы и прочности сцепления между слоями «тяжелый бетон – пенобетон» (плотный керамзитобетон - пенобетон), формирование переходной зоны в структуре изделия (пенобетон – газобетон) и образцов, где практически отсутствует контактная зона (слой) (крупнопористый керамзитобетон - пенобетон). Прочность изделий в таком случае обеспечивается контактной зоной между керамзитом и затвердевшим пенобетоном. При формировании крупнопористого керамзито- и пенобетона расход пенобетонной массы определяется величиной межзерновой пустотности определенной фракции керамзита, пенобетон в этом случае является матрицей, а керамзит наполнителем.

Сцепление в составе одного образца между разноплотными слоями будет зависеть не только от технологических приемов (время выдержки, прошедшее между заливкой слоев (пенобетон и керамзитобетон),

очередность заливки (пенобетона и газобетона)), но и от плавности перехода плотностей бетонов в контактной зоне композиционных стеновых материала. В составе одного образца разноплотные слои при нагружении будут работать раздельно, то есть более легкие слои сминаются при превышении их несущей способности, откалываются, а вся нагрузка направляется на более плотные слои. Это особенным образом проявляется для бетонов с большей разностью по плотности слоев.

Особенностью разрушения бетонов с различной плотностью является отслоение при нагружении менее плотной части, и поэтому более эффективным будет являться материал с плавным изменением плотности слоев бетона в контактной зоне, это повлечет за собой не только улучшение прочности, но также снижение теплопроводности бетонных образцов.

Установлено, что в контактной зоне двухслойных бетонных изделий с различной плотностью, формируются гидратные фазы, имеющие повышенную прочность структурных связей.

Увеличенное время между заливками слоев таких изделий приводит к уменьшению прочности сцепления слоев материала. Это связано с подъемом газобетонной массы и образованием корочки на поверхности газобетона, что приводит к тому, что уменьшается контактная зона материала и наибольшему вытеснению пенобетонной массы. Увеличение времени между заливками слоев и содержания воды в смеси снижает среднюю плотность изделий из таких бетонов.

По свойствам получаемого материала оптимальной является область, которая соответствует времени между заливками слоев бетонов 0-7 мин. и В/Т 0,47-0,53 при отношении содержащегося молотого кварцевого песка к немолотому 0,40-0,60.

А.Э. Бегляров в своих исследованиях [4] отмечает, что в связи с новыми требованиями по теплозащите малоэффективным оказалось

применение однослойных ограждающих конструкций. Самый реальный и перспективный выход из положения – применение трехслойных стеновых изделий. При этом, однако, подобные изделия, обладают рядом недостатков: быстрый выход утеплителя из строя; напряжения на границах соседних слоев; объединяющие наружные слои связи создают «мостики холода», нуждаются в дополнительных затратах на защиту от коррозии.

Также, технологии производства трехслойных изделий характеризуются высокой трудо- и энергоемкостью, уменьшающими их эффективность.

Вариантом устранения недостатков является переход на энергоэффективные и технологичные стеновые монолитно-слоистые изделия с плавной зоной перехода между соседними слоями, произведенных за один прием методом объемного прессования, при этом свободная вода отжимается и изделие уплотняется. Эффективный конструкционно-теплоизоляционный элемент возможен в случае, если будет создана развитая удельная поверхность на плоскостях соприкосновения слоев с образованием переходной промежуточной зоны между ними, которая будет нивелировать напряжения между основными слоями. Необходимо при этом исключить принудительное уплотнение изделия и перейти на литьевую технологию укладки формовочных масс.

При объемном прессовании на формуемые массы осуществляется комплексное воздействие гидротеплосиловым полем, а результатом является: взаимное проникновение слоев; отжатие свободной влаги до значений, приближенных к необходимым для гидратации вяжущего; создание структуры бетона повышенной прочности и ускорение тепловой обработки. Материал при этом уплотняется на величину, равную объему удаленной влаги, капиллярная пористость уменьшается, прочность межпоровых перегородок повышается.

Определяющей в рассматриваемых системах становится конечная формовочная влажность масс после отжатия при самоуплотнении. Это позволяет применять подвижные смеси, для которых не требуется принудительное воздействие на них при укладке в формы.

Фасонная поверхность контакта слоев создается по причине полифракционности зернового состава вспенивающихся гранул полистирола, и усилия, развиваемые ими в массе при окончательном вспенивании, также будут различаться. Переменное поле давления на стыке двух слоев дает обеспечение развитой удельной поверхности между ними, хорошее сцепление и совместную работу монолита. Переходная зона между соседними слоями образуется следующим образом. При объемном прессовании происходит непрерывное удаление влаги через перфорацию форм. Наиболее тонкодисперсные фракции твердой фазы несет с собой вода. Под напором свободная влага через толщу изделия отжимается по фильтрационным протокам и увлекает за собой высокодисперсные частицы минерального компонента. По причине того, что движение влаги организовано у изделия через плотные слои, в них заплывают фильтрационные протоки и тонкодисперсные фракции задерживаются, создавая переходный слой. По пути движения воды по мере снижения ее взвешивающей силы высокодисперсные фракции оседают.

При электропрогреве объемное прессование совпадает с первым периодом гидратации вяжущего. Растворение клинкерных минералов, насыщение продуктами их гидратации жидкой фазы, создание микроскопических центров кристаллизации преобладает над образованием коагуляционных структур, их формирование осложняется массопереносом. Отжатие влаги по мере уплотнения структуры постепенно прекращается, создаются условия для роста кристаллических новообразований по объему, на поверхности гидратирующихся частиц и из раствора, пересыщенного

продуктами гидратации. Теплосиловое воздействие на твердеющую минеральную матрицу направлено на механическое удаление избыточной формовочной влаги через жидкую фазу и на модификацию механизма гидратации вяжущего при близком к стехиометрическому влагосодержании.

При самоуплотнении в среднем слое создается структура с двойным каркасом – минеральным и полимерным – путем спекания зерен пенополистирола. Под нагрузкой усилие воспринимает минеральная матрица материала, нормальные напряжения при этом передаются на полимерный каркас. Разрушается бетон при нормальных напряжениях, превышающих прочность при разрыве полимерного каркаса, или при превышении прилагаемой нагрузки прочности минеральной матрицы при сжатии.

О.В. Королевой [5] были разработаны радиационно-защитные серые бетоны с вариативно-каркасной структурой, применяемые для защитных покрытий в хранилищах и бункерах для хранения радиоактивных отходов, изготовления специальных строительных изделий, конструкций, предназначенных для эксплуатации в условиях рентгеновского и гамма-нейтронного излучений.

Принципы создания таких бетонов, заключаются в декомпозиции системы критериев качества каждого структурного элемента (пропиточной композиции и крупнопористого каркаса) и интенсивных свойств – по процессам, явлениям и фазам с выявлением рецептурных и технологических факторов, явлений, оказывающих большое влияние на структурообразование материала. В качестве вяжущего вещества применялась сера, в качестве наполнителей – ангидрит, сажа, барит, ферроборовый шлак, оксид свинца и кварцевый песок, а в качестве заполнителя – свинцовая дробь. Между серой и наполнителями происходят реакции с образованием сложных соединений при взаимодействии серы, барита, ферроборового шлака – полисульфидных соединений, с оксидом свинца – водонерастворимого сульфида свинца.

Ангидрит и сажа являются химически инертными наполнителями. Наполнитель увеличивает плотность дислокаций в кристаллах серы, модифицирующие добавки уменьшают их концентрацию.

Если рассматривать эффективность защиты от смешанного гамма-нейтронного излучения, то исследуемые наполнители располагаются нисходящим образом в ряд: сажа, ферроборовый шлак, ангидрит, барит, оксид свинца.

Чтобы получить каркасы, обладающие хорошими физико-механическими свойствами и пропиточной способностью, целесообразным будет использование свинцовую дробь с зернами диаметром 8 мм. Зависимость от толщины слоя прочности каркасов клея носит экстремальный характер, который можно объяснить формированием слоев эпоксидного клея с различным уровнем прочности контакта между зернами дроби и внутренних напряжений. Разрушаются каркасы вследствие того, что отслаивается эпоксидный клей от свинцовой дроби при ее деформировании.

При этом показатели эксплуатационных свойств таких бетонов на 10-50% будут выше, чем у сверхтяжелых серных бетонов.

О.А. Мирюк предложил способ формирования вариатропного строения магнезиального пенобетона, предусматривающий последовательную укладку пеномасс с различной средней плотностью [6]. Для центрального слоя пенобетонного блока подобрана формовочная масса с пенополистирольными гранулами. Изменение соотношения толщины отдельных слоев позволяет регулировать показатели средней плотности изделия. При формировании вариатропной структуры образуется многомодульная пористость, создавая теплоизоляционный барьер. Вариатропный магнезиальный бетон характеризуется надежным сцеплением с пенополистирольными гранулами, плавным переходом зон с различной пористостью. Магнезиальные ячеистые бетоны характеризуются малодефектным строением, повышенной

пористостью при наибольших показателях прочности. Возможное направление использования блоков вариатропной структуры – купольный дом. В настоящее время купольное строительство популяризируется, так как такое жилье соответствует важным критериям – экологической безопасности и энергетической эффективности, не противоречит основным задачам строительства.

Т.В. Загоруйко отмечает [7] перспективность применение железобетонных конструкций вариатропной структуры. Одним из основных свойств вариатропных систем согласно является обеспечение «эксплуатационных характеристик материала в любой точке полностью соответствующих величине разрушающих воздействий, создаваемых внешней средой в рассматриваемой точке». При этом обеспечивается максимальное эффективное использование свойств материала во всем объеме конструкции.

В вариатропных конструкциях создается возможность повышения их несущей способности, теплозащиты, огнеупорности, химической стойкости, электрического сопротивления и т.д. То есть стойкость этих конструкций по сравнению с однородными конструкциями, имеющими такие же геометрические размеры, массу и усредненный состав, существенно выше. При требуемых эксплуатационных характеристиках конструкции появляется возможность обеспечить уменьшение геометрических размеров, массы элемента, удельного расхода материала, т. е. «вариатропия должна гарантировать появление резерва положительных характеристик элемента».

Вариатропный материал или конструкция характеризуется переменной структурой и переменным составом. Перспективными считаются вариатропные изделия переменного состава, так как введение новых компонентов в состав с постепенным уменьшением или увеличением их концентрации по сечению конструкции позволяет локализовать

возникающие напряжения, химические, осмотические и др. виды градиентов, снижающие в целом долговечность и надежность конструкций.

В настоящее время все большее распространение получают технологические приемы сознательного внесения направленной неоднородности в любой однородный объект, которая может обеспечить его наиболее рациональное строение. Все это свидетельствует о перспективности дальнейшего изучения вариатропии и расширения ее использования для решения вопросов повышения огнестойкости железобетонных строительных конструкций.

Литература

1. Чернов А.Н. Новые перспективы ячеистых бетонов // library.stroit.ru
URL: library.stroit.ru/articles/beton/index.html (дата обращения: 10.07.2017).
2. Булавин В.А. Газобетон для монолитных ограждающих конструкций с вариатропной поровой структурой: дис. ... канд. тех. наук: 05.23.05. Ростов-на-Дону, 2003. 145 с.
3. Корнев Е.С. Двухслойные стеновые изделия из бетонов различной плотности: дис. ... канд. тех. наук: 05.23.05. Новосибирск, 2009. 142 с.
4. Бегляров А.Э. Эффективные стеновые монолитно-слоистые изделия объемного прессования: дис. ... канд. тех. наук: 05.23.05. Москва, 2011. 134 с.
5. Королева О.В. Структура и свойства радиационно-защитных серных бетонов вариатропно-каркасной структуры: дис. ... канд. тех. наук: 05.23.05. Пенза, 2007. 256 с.
6. Мирюк О.А. Формирование магниезиального ячеистого композита с переменной плотностью // Материалы III Международной научно-практической конференции «21 век: фундаментальная наука и технологии». М., 2014. С. 167-169.

7. Загоруйко Т.В. Бетон повышенной термостойкости для огнестойких железобетонных изделий: дис. ... канд. тех. наук: 05.23.05. Воронеж, 2015. 163 с.

8. Стельмах С.А., Щербань Е.М., Халюшев А.К., Холодняк М.Г., Нажуев М.П., Галкин Ю.В. Влияние технологических факторов на свойства неавтоклавного газобетона // Инженерный вестник Дона, 2017, № 2 URL: ivdon.ru/magazine/archive/N2y2017/4125.

9. Шуйский А.И., Стельмах С.А., Щербань Е.М., Халюшев А.К., Холодняк М.Г., Шаталов А.В. Влияние структурирующей добавки на физико-механические свойства неавтоклавного газобетона // Инженерный вестник Дона, 2017 №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4126.

10. Pooya Alaee, Bing Li. High-strength concrete exterior beam-column joints with high-yield strength steel reinforcements // Engineering Structures. 2017. Vol. 145. pp. 305-321.

11. Mohamed K. Ismail, Assem A.A. Hassan. An experimental study on flexural behaviour of large-scale concrete beams incorporating crumb rubber and steel fibres. 2017. Vol. 145. pp. 97-108.

References

1. Chernov A.N. Novye perspektivy yacheistykh betonov [New perspectives of cellular concrete]. URL: library.stroit.ru/articles/beton/index.html (accessed 10/07/17).

2. Bulavin V.A. Gazobeton dlya monolitnykh ograzhdayushchikh konstruktsiy s variatropnoy porovoy strukturoy [Aerated concrete for monolithic enclosing structures with a variational pore structure]: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.05. Rostov-na-Donu, 2003. 145 p.

3. Kornev E.S. Dvukhsloynnye stenovye izdeliya iz betonov razlichnoy plotnosti [Two-layer wall products from concrete of various density]: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.05. Novosibirsk, 2009. 142 p.

4. Beglyarov A.E. Effektivnyye stenovye monolitno-sloistye izdeliya ob"emnogo pressovaniya [Effective wall monolith-laminated products of bulk pressing]: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.05. Moscow, 2011. 134 p.

5. Koroleva O.V. Struktura i svoystva radiatsionno-zashchitnykh sernykh betonov variatropno-karkasnoy struktury [Structure and properties of radiation-protective sulfur concretes of a variational-frame structure]: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.05. Penza, 2007. 256 p.

6. Miryuk O.A. Materialy III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "21 vek: fundamental'naya nauka i tekhnologii" (Materials III International Scientific and Practical Conference "21st century: fundamental science and technology". Moscow, 2014. pp. 167-169.

7. Zagoruyko T.V. Beton povyshennoy termostoykosti dlya ognestoykikh zhelezobetonnykh izdeliy [Concrete of increased heat resistance for fireproof reinforced concrete products]: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.05. Voronezh, 2015. 163 p.

8. Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Khalyushev A.K., Kholodnyak M.G., Nazhnev M.P., Galkin Yu.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/N2y2017/4125.

9. Shuyskiy A.I., Stel'makh S.A., Shcherban' E.M., Khalyushev A.K., Kholodnyak M.G., Shatalov A.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4126.

10. Pooya Alae, Bing Li. Engineering Structures. 2017. Vol. 145. pp. 305-321.

11. Mohamed K. Ismail, Assem A.A. Hassan. An experimental study on flexural behaviour of large-scale concrete beams incorporating crumb rubber and steel fibres. 2017. Vol. 145. pp. 97-108.