

Лекция 2. Бетоны в современном строительстве. Высокопрочные бетоны. Самоуплотняющиеся бетоны.

Введение

Научные исследования и разработки Научно-исследовательского, проектно-конструкторского и технологического института бетона и железобетона им. А. А. Гвоздева (НИИЖБ) — одного из крупнейших в СССР и России специализированных институтов в области строительства.

1940—1960 годы

Метод расчета железобетонных конструкций по предельным состояниям.

Основы теории твердения бетонов при тепловой обработке с использованием различных теплоносителей и методов ускорения твердения бетонов на заводах сборного железобетона.

Модификаторы на основе кремнийорганических соединений, повышающих морозо- и коррозионную стойкость бетона, успешно примененных при строительстве Зейской ГЭС, Большого Чуйского канала в Киргизии.

1970—1990 годы

Суперпластификаторы для разжижения бетонных смесей (совместно с Минхимпромом).

Комплексные модификаторы полифункционального действия, обеспечивающие получение бетонов для эксплуатации в агрессивных средах.

Модификаторы многоцелевого назначения на основе микрокремнезема.

Модификаторы нового поколения на органоминеральной основе МБ-01, позволяющие получать высокопрочные бетоны с высокими эксплуатационными свойствами для применения в уникальных объектах и в высотном строительстве.

Технологии термообработки бетона в южных районах страны с помощью солнечной энергии без промежуточных теплоносителей (гелиотехнология).

Метод термообработки бетона греющим проводом, который в современном монолитном строительстве стал одним из основных методов интенсификации твердения бетона.

Технологии и оборудование для очистки камня, бетона и металла от различных загрязнений (коррозии, битума, полимеров и др.).

Безригельный каркас, в котором напрягаемая в построечных условиях арматура объединяет элементы здания в единую конструктивную систему.

Расширяющиеся и напрягающие цементы.

Энергосберегающая технология получения неавтоклавного ячеистого бетона с физико-техническими свойствами, не уступающими лучшим зарубежным аналогам по прочности, огнестойкости и долговечности.

Теория расчета сложных железобетонных конструкций методом гладко сопряженных элементов на основе точных частных решений.

Высокомеханизированные технологические линии для производства железобетонных и предварительно напряженных конструкций.

2000-е годы

Технология переработки зол и шлаков для производства различных бетонов.

Разработка бетонов с ускоренными режимами набора прочности.

Совершенствование технологии укладки бетона за счет самоуплотнения бетонной смеси.

Расширение применения высокопрочной стальной и фибровой арматуры.

Разработка новых эффективных конструктивных систем зданий и сооружений.

Рекомендации по переводу заводов сборных железобетонных конструкций и крупнопанельного домостроения на гибкие технологии.

Исследование, расчет, конструирование, усовершенствование железобетонных конструкций и конструктивных систем зданий и сооружений и мониторинг в процессе их возведения и эксплуатации.

Другие достижения

Методы исследований, позволяющие оценивать коррозионную стойкость исходных материалов, бетона, сопротивление различных арматурных сталей коррозионным воздействиям, осуществлять прогноз их долговечности в конкретных условиях эксплуатации.

Стандарты на неразрушающие методы контроля качества.

Статистические методы контроля прочности бетона и соответствующие стандарты.

Конструктивные решения тонкостенных пространственных конструкций из железобетона, сталежелезобетона, фибробетона и его разновидностей при строительстве различных объектов, в том числе уникальных.

Стержневая арматура классов А300 (1949 г.), А400 (1956 г.), А600 и А800 (1970 г.).

Промышленное производство термомеханически упрочненной арматурной стали классов Ат800 и Ат1000 (1967 г.).

Разработка и исследование новых эффективных вяжущих, модификаторов, бетонов, арматуры, арматурных изделий, методов их защиты от коррозии и технологий изготовления.

Разработка строительных норм и правил, государственных стандартов, а также нормативно-инструктивных и рекомендательных документов в области строительства.

Высокопрочный бетон

В современных условиях возможно получать высокопрочные бетоны с прочностью 50 . . 100 МПа и особо высокопрочные с прочностью более 100 МПа. На практике более широкое применение получили высокопрочные бетоны с прочностью 50 80 МПа. Для получения высокой прочности необходимо создать особоплотную, прочную и монолитную структуру бетона, Этого можно достигнуть при выполнении ряда условий, вытекающих из физических основ структурообразования бетона: 1) применением высокопрочных цементов и заполнителей; 2) предельно низким

водоцементным отношением; 3) высоким предельно допустимым расходом цемента; 4) применением суперпластификаторов и комплексных добавок, способствующих получению плотной структуры бетона; 5) особо тщательным перемешиванием и уплотнением бетонной смеси; 6) созданием наиболее благоприятных условий твердения бетона.

Для высокопрочных бетонов следует принять цементы активностью $R_{сж} > 50$ МПа желательно с низкими значениями нормальной густоты. В зависимости от назначения бетона для его приготовления целесообразно использовать цемент определенного минералогического состава. При изготовлении сборных железобетонных изделий небольших и средних размеров применяют высокопрочные тонкомолотые портландцементы с повышенным содержанием C_3S и C_3A и быстротвердеющие цементы. Для массивных изделий и конструкций, изготавливаемых на полигонах без тепловой обработки, рекомендуется применять цементы с пониженным содержанием C_3A и ограниченным содержанием C_3S (менее 50%), лучше всего белитовые. Такие цементы твердеют в течение длительного срока, обеспечивая высокую конечную прочность бетона. В первые сутки твердения тепловыделение и усадка цемента небольшие и соответственно объемные деформации и вредные собственные напряжения и в бетоне также невелики. Для обеспечения более равномерного твердения могут также использоваться пластификаторы и замедлители твердения.

Заполнители для высокопрочного бетона должны быть чистыми и обладать хорошим зерновым составом и малой пустотностью, не содержать по возможности слабых зерен. Предел прочности крупного заполнителя должен быть на 20 % выше заданной прочности бетона. С повышением прочности бетона влияние заполнителя на структуру бетона и результаты испытаний постепенно увеличиваются. Для каждого заполнителя имеется предельное значение прочности бетона, выше которого на данном заполнителе получить бетон трудно и экономически невыгодно, так как незначительное повышение прочности бетона сопровождается значительным увеличением расхода

цемента. Обычно этот предел наступает, когда прочность на растяжение бетона приближается к прочности заполнителя. Для особо высокопрочных бетонов применяют заполнители повышенной прочности из диабаз и базальта.

Высокая плотность и прочность бетона достигаются применением предельно низкого водоцементного отношения. Однако с уменьшением В/Ц повышается вязкость цементного теста, ухудшаются условия приготовления и уплотнения бетонной смеси, увеличивается воздухововлечение. В результате нарушается прямолинейная зависимость прочности бетона от цементно-водного отношения и после достижения определенных значений В/Ц дальнейшее его снижение практически мало способствует повышению прочности бетона. В обычных условиях это наблюдается при $В/Ц < 0,4$.

При применении суперпластификаторов прямолинейная зависимость прочности бетона от цементно-водного отношения сохраняется до $Ц/В = 4$.

Существенное значение для технологии высокопрочного бетона имеет тот факт, что при низких В/Ц нарушается закон постоянства водопотребности бетонной смеси, т. е. при увеличении расхода цемента свыше 400 кг/м³ приходится для получения равноподвижных смесей увеличивать одновременно и расход воды, чтобы компенсировать резкое повышение вязкости цементного теста. Соответственно возрастает расход цемента, что приводит к ухудшению структуры бетона, увеличению тепловыделения и усадки, к росту вредных внутренних напряжений и деструктивных явлений. В результате снижается эффективность использования цемента. Дальнейшее увеличение расхода цемента сверх 550 ... 600 кг/м³ практически мало повышает прочность бетона и экономически нецелесообразно.

Для гарантированного получения плотной и прочной структуры расход цемента в высокопрочном бетоне ограничивают: для сборных железобетонных изделий малых и средних размеров максимально допустимый расход цемента 550 кг/м³, для изделий большой массивности — 450 кг/м³. В высокопрочных бетонах следует особо уделять внимание

снижению расхода цемента, так как при прочих равных условиях это способствует получению более плотной и менее дефектной структуры бетона и повышению его прочности. Для снижения расхода цемента используют 1) применение более высокопрочных цементов, повышение их активности механическим или химическим путем (домол с добавкой 2 ... 3% гипса или с комплексной добавкой на основе суперпластификаторов по удельной поверхности 4000 ... 5000 см², активацию в специальных установках); 2) применение специально подобранной смеси заполнителей с минимальной пустотностью и водопотребностью; 3) введение в бетонную смесь суперпластификаторов и комплексных добавок; 4) назначение класса бетона, если это возможно, по его прочности в большем возрасте, чем 28 сут.

Введение суперпластификаторов особенно эффективно снижает расходы цемента, так как этому способствуют не только резкое повышение подвижности и улучшение уплотняемости бетонной смеси, но и тот факт, что в этом случае постоянство водопотребности сохраняется при высоких расходах цемента (до 550 кг/м³), т. е. в этом случае не требуется дополнительного расхода цемента для компенсации повышенной вязкости бетонной смеси. В результате повышается эффективность использования цемента в высокопрочных бетонах.

Наилучшими условиями для твердения высокопрочного бетона являются нормальные (температура 20 ... 25°C, влажность 100 %). С повышением температуры и особенно при тепловой обработке в твердеющем бетоне возникают градиенты температуры и влажности, приводящие к миграции влаги, к температурно-влажностным деформациям и неравномерной усадке цементного камня. В результате увеличиваются деструктивные явления, поэтому при применении для ускорения твердения высокопрочного бетона тепловой обработки необходимо применять более длительную предварительную выдержку, очень мягкие режимы с постепенным подъемом и спуском температуры, снижать температуру прогрева до 50 ... 60°C, обеспечивать высокую влажность среды. Не следует назначать слишком

длительных режимов прогрева, ограничивая его продолжительность моментом, когда прочность бетона достигнет 50 ... 70 % его класса. В этом случае высокопрочные бетоны удовлетворительно твердеют в дальнейшем. Оптимальные режимы прогрева назначают по результатам предварительных опытов.

При соблюдении рассмотренных условий прочность бетона может превысить марку цемента в 1,5 .. 1,7 раза. Применение высокопрочного бетона позволяет сократить массу и материалоемкость железобетонных изделий.

Самоуплотняющийся бетон и его диагностика

Рассказывается об истории создания, составах и свойствах самоуплотняющихся бетонов. Описаны преимущества самоуплотняющихся бетонов по сравнению с обычными бетонами.

Панельное домостроение уходит в историю. Монолитный и сборно-монолитный способы возведения зданий и сооружений приобретают в настоящее время все большее распространение. Панелевозы уступают место автобетоносмесителям, доставляющим бетонную смесь на строительную площадку. Установка арматурных каркасов и опалубки, доставка, укладка и уплотнение бетонной смеси с последующим уходом за ней являются сейчас основными этапами процесса возведения зданий и сооружений. А можно ли ускорить и удешевить этот процесс без ущерба для качества строительства (возможно, даже и с улучшением качества!), например, исключив процесс вибрирования бетонной смеси? Ответ прост: можно, за счет использования самоуплотняющегося бетона, который уже около 15 лет успешно используется на строительных площадках в странах дальнего зарубежья и не сегодня, так завтра появится у нас.

Самоуплотняющийся бетон - это бетон, который без воздействия дополнительной внешней уплотняющей энергии самостоятельно, под действием собственной тяжести и за счет высокой подвижности течет, освобождается от содержащегося в нем воздуха и полностью заполняет

пространство опалубки, в том числе между арматурными стержнями. При этом остаточный объем пор в самоуплотняющемся бетоне не больше, чем в обычном бетоне [2].

В немецком языке самоуплотняющийся бетон получил сокращенное название SVB (Selbstverdichtender Beton), в английском - SCC (Selfcompacting concrete), во французском - BAP (Beton autoplacant) [3]. С распространением самоуплотняющегося бетона на русском языке он сокращенно обозначается СУБ.

История и исследования

История самоуплотняющегося бетона началась в Японии в 1990 г. Там профессором Хаймой Окамурой было создано и внедрено в практику новое поколение добавок к бетону - высокоэффективные добавки для улучшения текучести на базе по-лиакрилата и поликарбоксилата. В результате удалось получить бетон, имеющий высокую пластичность при низком содержании воды. Кроме Окамуры, в создании и развитии самоуплотняющегося бетона принимали участие профессора К. Маекава и К. Озава.

Благодаря уникальным свойствам и преимуществам самоуплотняющийся бетон получил широкое распространение в Западной Европе. Сначала он использовался на предприятиях, производивших готовые железобетонные изделия. Затем самоуплотняющийся бетон начинает активно применяться в качестве так называемого "транспортного бетона", т.е. бетона, который доставляется и укладывается непосредственно на строительной площадке.

Дальнейшее активное развитие и изучение самоуплотняющегося бетона происходило в Германии. Так, после тщательного изучения свойств самоуплотняющегося бетона, проводимого в Институте строительных исследований в г. Аахен (Германия) в 2000-2001 гг. под руководством профессора Вольфганга Брамесхубера по заказу фирмы "Dyckerhoff Beton GmbH", были созданы первые предпосылки для официального допуска и распространения этого материала по всей Европе. Исследования в Аахене показали, что прочность на сжатие самоуплотняющегося бетона, как

правило, выше, чем обычного "вибрируемого" бетона, а прочность на раскалывание, статический модуль упругости, усадка и ползучесть - такие же. Кроме того, материал обладал прекрасными свойствами по водонепроницаемости и, таким образом, был официально допущен и рекомендован для использования при сооружении водонепроницаемых сооружений. Бетон получил название "Dyckerhoff Liquidur" и, благодаря своим уникальным свойствам, стал активно распространяться по строительным площадкам Европы [1, 4].

Последним аргументом в пользу широкого распространения самоуплотняющегося бетона в Западной Европе было издание в Берлине "Немецким комитетом по железобетону" в ноябре 2003 г. нормативного документа "DAfStb-Richtlinie Selbstverdichtender Beton (SVB-Richtlinie)". В этом документе подробно изложены термины и связи с другими европейскими нормативными документами по строительству, а также методы диагностики самоуплотняющегося бетона. Таким образом, после выхода этого документа самоуплотняющийся бетон был официально допущен и разрешен к использованию в Европе без необходимости дополнительных разрешений, согласований и допусков.

В настоящее время изучение самоуплотняющегося бетона и методов его диагностики активно продолжается. Такие исследования проводятся, например, на строительном факультете Технического университета г. Берлина под руководством профессора Бернда Хиллемайера и доктора Жеральдин Бухенау. Основная часть материалов этих исследований (вместе с исследованиями других немецких ученых) опубликована в 2006 г. в так называемом "Бетонном календаре" в разделе "Специальные бетоны" [3].

В последнее время в европейских специализированных журналах появилось большое количество публикаций о самоуплотняющемся бетоне, что свидетельствует о большом интересе к его изучению со стороны ученых практически всех европейских стран.

Состав

Максимальная зернистость крупного заполнителя для самоуплотняющегося бетона составляет 16 мм. Подбор состава компонентов смеси для приготовления самоуплотняющегося бетона осуществляется, как правило, по японскому методу, разработанному профессором Окамурой. Концепция этой рецептуры основывается на повышении доли мелких пылевидных частиц. Рецептуры самоуплотняющегося бетона по Окамуре базируются на следующих граничных условиях:

насыпной объем заполнителя крупной фракции должен быть не более 50% объема бетона;

объемная часть песка в растворе должна составлять 40% [6].

Стандартная рецептура бетона представлена в таблице 1.

Таблица 1

Рецептура самоуплотняющегося бетона

Компонент	Количество, кг/м³
Цемент	350
Зольная пыль или молотый известняк	200
Вода	170-180
Песок (размер частиц 0-2 мм)	650
Мелкий щебень (размер частиц 2-16 мм)	950
Пластификатор	2-4
Водоцементное отношение	0,49-0,51

Состав и виды самоуплотняющегося бетона постоянно развиваются. Так, в 2003 г. в Германии был получен допуск на использование легкого самоуплотняющегося бетона. Несмотря на низкую плотность в незатворенном состоянии, равную 1,38 кг/дм³, этот бетон обладает

прекрасной подвижностью и способностью самоуплотняться. Его механические свойства аналогичны свойствам обычного бетона.

Свойства

Анализ последних исследований, проведенных в Японии, Германии и Швеции, дает возможность представить свойства самоуплотняющегося бетона по сравнению с обычным бетоном.

Прочность на сжатие. При равном содержании цемента и водоцементном соотношении самоуплотняющийся бетон имеет более высокую прочность на сжатие за счет более плотного состава смеси.

Прочность на растяжение. При аналогичных показателях прочности на сжатие самоуплотняющийся бетон имеет более высокую прочность на растяжение по сравнению с обычным.

Связь "бетон - арматура". Поскольку самоуплотняющийся бетон обладает хорошей подвижностью и сцеплением между отдельными частицами, он обладает хорошими свойствами образования плотного соединения с арматурными стержнями. При этом расположение арматуры (верхний или нижний ряд стержней) не имеет значения.

Модуль упругости. Модуль упругости самоуплотняющегося бетона примерно на 15% ниже, чем у обычного бетона. Это связано с повышенным содержанием мелких пылевидных частиц в бетонной смеси и пониженным содержанием крупной фракции заполнителя по сравнению с обычным бетоном.

Преимущества

Преимущества самоуплотняющегося бетона по сравнению с другими традиционными видами бетона можно условно разделить по группам и представить следующим образом с использованием.

Для заказчика - высокая безопасность капиталовложений за счет:

возведения строительных конструкций высокой прочности, в которых исключены дефекты, вызванные ошибками при уплотнении бетонной смеси; сокращение продолжительности строительства.

Для архитектора - широкий выбор форм конструкций и возможности придания конструкции заданного внешнего вида за счет:

особой гладкой и плотной наружной поверхности бетона, которая в точности повторяет форму и поверхность опалубки;

опалубки различной формы и структуры;

возможности создания конструкции любой геометрии.

Для проектировщика - свободный выбор геометрической формы конструкций, обеспечение их долговечной эксплуатации и упрощение разработки проекта производства работ за счет:

снижения трудоемкости и продолжительности работ по бетонированию (отпадает необходимость в уплотнении);

возможности более плотного расположения арматуры;

прочного сцепления арматуры с бетоном и проникания бетона в самые труднодоступные места;

возможности подачи бетона непосредственно через опалубку, например, через отверстие в ней;

более простой и менее массивной конструкции опалубки (из-за отсутствия процесса вибрирования бетона динамические и статические нагрузки на опалубку значительно снижены).

Для строительной фирмы, выполняющей работы на площадке, - более безопасное ведение строительных работ и сокращение затрат на зарплату персонала за счет:

интенсификации возведения конструкций из бетона;

отсутствия необходимости уплотнения бетона и исключения ошибок, которые могли бы возникнуть при его уплотнении;

работы персонала в безопасных условиях;

самостоятельного растекания бетонной смеси по всей конструкции;

исключения возможности расслоения бетонной смеси;
отсутствия шума и вибрации, негативно воздействующих на персонал и на проживающих рядом со строительной площадкой людей.

Экономичность и перспективы использования

Проанализировать экономичность самоуплотняющегося бетона можно на основе имеющегося опыта его использования в Европе, в частности в Германии.

Если сравнивать цены, то самоуплотняющийся бетон вследствие своего модифицированного состава и стоимости отдельных компонентов бетонной смеси дороже обычного бетона аналогичного вида. Разница в цене составляет от 13 до 18 евро за 1 м³. Эта удорожание бетона компенсируется экономией средств при его укладке и благодаря целой группе других преимуществ.

Анализ работ по бетонированию в Германии показал, что, поскольку отпадает необходимость в уплотнении бетонной смеси на строительной площадке, экономия средств при использовании самоуплотняющегося бетона для бетонирования отдельных строительных конструкций может составлять от 3 до 6 евро за конструкцию. Кроме того, уплотнение традиционного бетона, например при бетонировании колонн и опор, вызывает необходимость организации частых перерывов при подаче бетонной смеси, а при применении самоуплотняющегося бетона такие перерывы исключены!

На строительных площадках очень часто приходится сталкиваться с ситуациями, когда использование самоуплотняющегося бетона просто необходимо:

при бетонировании на большой высоте или на воде, когда процесс уплотнения крайне затруднен, требует значительных средств и небезопасен для персонала;

при бетонировании густоармированных конструкций, где обычный бетон не заполняет всю полость опалубки, что может впоследствии привести к появлению дефектов и преждевременной коррозии;

при бетонировании конструкций сложной геометрической формы, а также конструкций, к которым предъявляются особые требования по качеству наружной поверхности;

при бетонировании опор мостов, плотин, туннелей и других труднодоступных и ответственных сооружений, когда необходимо непрерывно подавать на объект большое количество бетона, а работа персонала крайне затруднена и небезопасна.

Если учесть еще тот факт, что многие наши фирмы уже приобрели высококачественную современную опалубку, а самоуплотняющийся бетон в точности повторяет поверхность опалубки и не имеет полостей и каверн, то использование этого бетона даст заметно более высокое качество наружной поверхности, нежели при использовании обычного бетона (т.е. во многих случаях отпадет необходимость в дальнейшей отделке: шпатлевке и т.д.), а это также ведет к существенному сокращению затрат на строительство. Кроме того, из-за отсутствия процесса вибрирования можно использовать более простую и менее массивную конструкцию опалубки!

Стоит добавить, что зарплата строителей в последнее время значительно возросла. Поскольку необходимость в уплотнении бетонной смеси на строительной площадке за счет использования самоуплотняющегося бетона отпадет и подавать бетон можно будет не сверху, а непосредственно в опалубку, то может быть сокращена численность персонала, занятого в бетонировании. Следовательно, удастся сэкономить средства и повысить безопасность труда при выполнении этих работ.