

ОСОБЕННОСТИ БЕТОНИРОВАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

Важнейшей особенностью монолитного бетонирования является скоростное возведение зданий и сооружений, отвечающих нормативным требованиям по прочности, долговечности и комфорту.

Строительство вертикальных элементов из монолитного бетона начинается с металлического каркаса, изготавливаемого, как правило, на месте строительства или сваренного и смонтированного в крупные элементы в заводских условиях с последующей окончательной сборкой при возведении стены. После контроля и приемки требуемого по проекту каркасного армирования производится строго вертикально — практически с геодезическим нивелированием сборка опалубки.

Другой особенностью скоростного монолитного бетонирования является применение высокоподвижных бетонных смесей класса П-1 (21 см) [4], подаваемых с помощью бетононасосов или в бадах высотным краном, а в зимнее время необходим еще элек-тропрогрев бетона.

При бетонировании элементов стены смесями подвижности класса П-3 (16 см) и ниже (получающейся за счет испарения влаги и дополнительного воздухововлечения из-за долгой доставки) наблюдается неравномерная укладка бетона подобно рис. 1, вызывающая в бетоне дополнительные внутренние напряжения и тенденцию к трещинообразованию.

Однако при укладке бетона происходит еще ряд интересных и не учитываемых явлений [3]. Струя пластичной или литой, а с пластифицирующей добавкой еще и лиофильной бетонной смеси при подаче с высоты, обвивая арматурный стержень подобно струе воды (рис. 2), меняет направление



укладки и/или, во всяком случае, понижает скорость перемещения бетонной смеси, разрыхляя ее и приводя уже на стадии укладки к неоднородности.

При укладке потока литой смеси с высоты, как правило, выше формируемого этажа здания (выше опалубки с 2,8–3,5 м вместо нормативного значения не более 1,5 м) и минуя стержневой каркас при падении бетонной смеси непосредственно на основание (контур перекрытия нижнего этажа) возникает эффект тора (рис. 3).

Ближайшая к месту падения зона АВ представляет собой круг вращаемой вокруг столба плоскости (бетона) с непрерывным отбрасыванием из смеси крупных частиц вперед — в область утолщения тора, кажущейся неподвижной, на самом деле проталкивающей далее — во все стороны — слои цементного теста и частицы крупного за-

полнителя, нарушая однородность доставленной смеси.

Указанные явления в зависимости от изменения высоты столба происходят с переменной скоростью до окончания полного формирования вертикального фрагмента. При этом все разбросанные или разрыхленные частицы или элементы их скопления в момент удара, усиливающимся еще реакцией от смазанной поверхности опалубки, получают запас энергии, которая с окончанием укладки и образованием макрообъема (фрагмента конструкции) стремится перейти во внутреннюю потенциальную энергию твердого тела. А благодаря сильной ковалентной (дальней) связи между частицами или их элементами в свежесложенной смеси образуются силы притяжения, и бетон, по образному выражению А. А. Гвоздева, «дает осадку», обнажая под горизонтальными стержнями арматуры и под частицами крупного заполнителя свободные объемы, седиментационно заполняемые водой.

Кроме того, из-за применения механического уплотнения глубинными вибраторами в поверхностной зоне бетона по высоте бетонируемого элемента — на границе опалубки — образуется концентрированный слой цементной суспензии (в т. ч. и модифицирующих добавок) и мелкой фракции заполнителя, а около вертикальной арматуры — слой воды. Последняя, являясь компонентом со слабыми (водородными) связями и поэтому подвижными молекулами (или их агрегатами), адсорбционно стремится к арматуре — к системе с высокой плотностью и энергоемкостью, а на практике, как правило, еще и с пониженной температурой (по сравнению с укладываемой бетонной смесью).

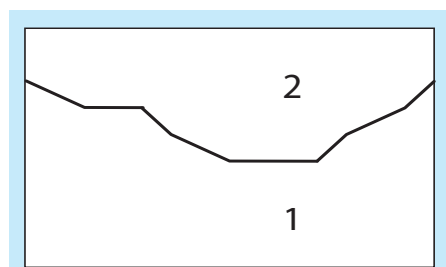


Рис. 1. Фрагмент стены, где 1 — первоначально уложенный бетон из смесей класса П-3 (с пониженной подвижностью), а 2 — последующая партия бетона

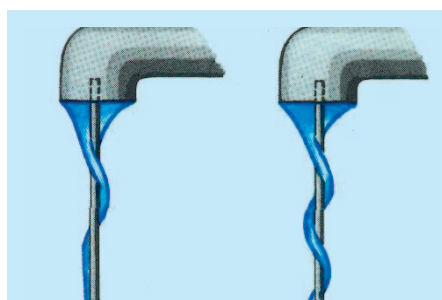


Рис. 2. Поведение потока бетонной смеси вокруг элемента стержневой арматуры

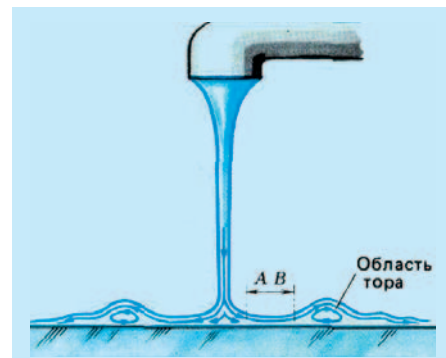


Рис. 3. Вокруг точки падения столба бетонной смеси образуются две отчетливо различающиеся зоны

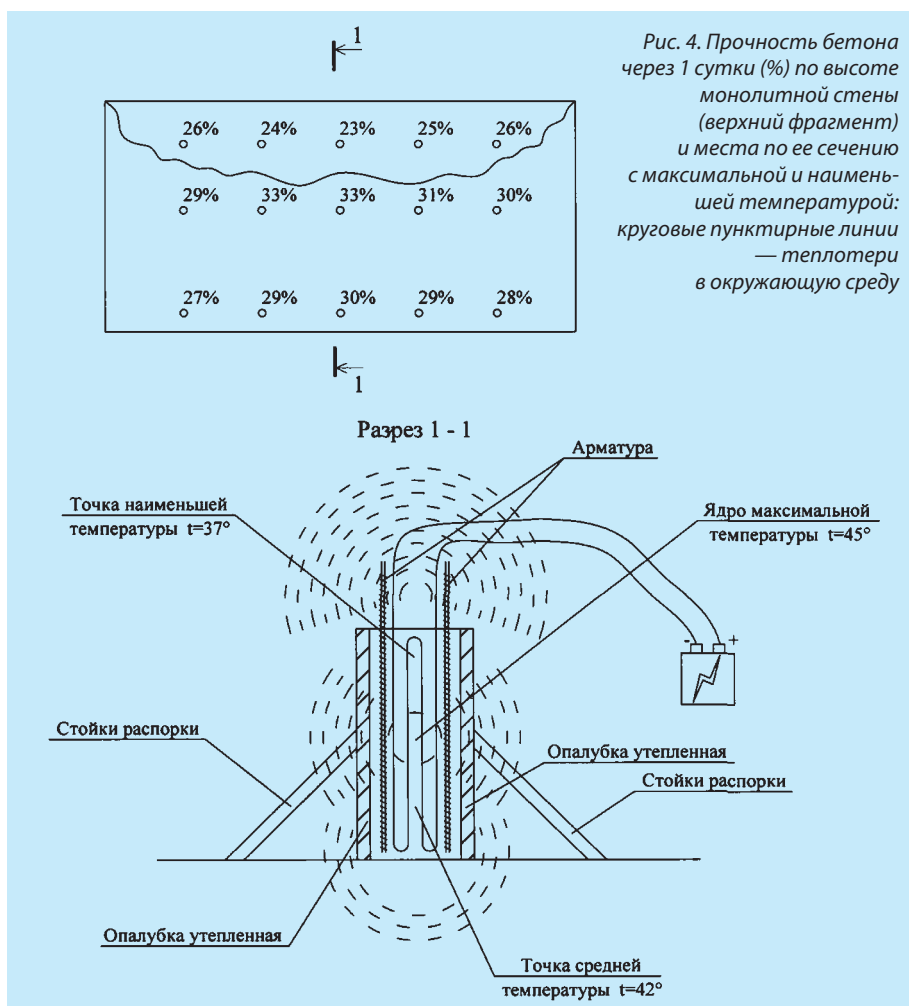


Рис. 4. Прочность бетона через 1 сутки (%) по высоте монолитной стены (верхний фрагмент) и места по ее сечению с максимальной и наименьшей температурой: круговые пунктирные линии — теплотери в окружающую среду

При замораживании бетона его деформация вследствие неоднородности (гетерогенности) структуры происходит неравномерно. Деформационная гетерогенность присуща и желе-зобетону. Как известно, железобетон своим возникновением обязан практически равным коэффициентам температурного расширения стали и бетона. Но для насыщенного водой на ранней стадии твердения и неморозостойкого (расширяющегося при замораживании) бетона это положение оказывается неверным. Свободные деформации бетона и арматуры при замораживании имеют различные знаки: бетон расширяется, а сталь испытывает температурное сокращение. Вследствие этого происходят: снижение сцепления бетона с арматурой и выгиб протяженных конструкций в сторону неармированной или слабоармированной зоны, усиливаемой в вертикальных элементах ветровой нагрузкой. При этом на выпуклой стороне образуются поперечные трещины, а на вогнутой происходит отслоение защитного слоя. Указанные нарушения структуры не позволяют бетону достичь проектной прочности, поскольку их процесс не обратим и прогрессирует с увеличением циклов оттаивания, замораживания и внешнего нагружения.

Одним из важнейших переделов, определяющих производительность возведения монолитных сооружений, в технологиче-

ской схеме зимнего бетонирования является тепло-влажностная обработка.

Основными критериями эффективности внутреннего прогрева монолитного бетона считаются: вид конструкции, расход энергии и сроки изготовления.

Они взаимосвязаны и неразделимы. Сроки распалубки конструкции и возможность ее нагружения зависят от интенсивности термообработки. А качество изделия будет зависеть от режима прогрева, представляющего оптимальное сочетание тем-

пературы и ее продолжительности. Применение температуры $90-95^{\circ}\text{C}$ приводит к образованию трещин, сколов, околлов [1].

Поэтому без негативных последствий для твердения бетона рекомендуется оптимальная температура $50-60^{\circ}\text{C}$. К этой температуре сегодня цементники и зарубежные производители предлагают портландцемент с повышенным содержанием щелочей ($0,85-1\%$), полагая, что при температуре изотермического прогрева не выше 60°C бетон на нем имеет хорошее качество. Но долговечность бетонов на таких цементах в нашем климате не гарантирована.

В европейской части России термообработка монолитных конструкций осуществляется с помощью электропрогрева греющим проводом. Однако нередко случается, что опалубка, закладные, арматурные и электромонтажные изделия смонтированы, выполнена коммутация систем электропрогрева, готово все к приемке бетона, но возникает необходимость удаления нанесенного снега и образовавшейся наледи. Для этого приходится демонтировать часть опалубки, осторожно очищать густоармированное, переплетенное проводом пространство, после чего приступать к бетонным работам.

Более того, при проводном прогреве почти в 30% случаев происходит отказ греющей системы вследствие обрыва или перегорания провода. Это обстоятельство приводит к монтажу дублирующих систем.

Часто густоармированные конструкции с уже смонтированным греющим проводом не позволяют качественно уложить бетон из-за намерзающих на проводе и арматурных каркасах глыб льда. Предварительной выдержки бетона в этой ситуации не происходит, так как невозможен прогрев опалубки, арматуры и основания. Но невозможен также и прогрев бетона непосредственно с момента укладки, поскольку греющая система в вертикальных конструкциях может быть включена только после заполнения опалубки до полного погружения грею-



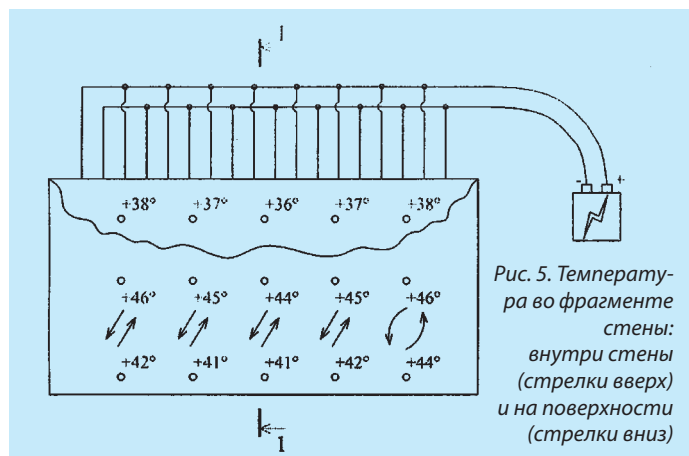


Рис. 5. Температуры во фрагменте стены: внутри стены (стрелки вверх) и на поверхности (стрелки вниз)

щего провода в бетон и после прекращения бетонных работ, а также удаления людей в безопасное место. В этом случае готовые конструкции зачастую имеют, помимо трещин от воздействия положительных температур, еще и морозный узор на поверхности (от воздействия отрицательных температур). Вследствие этого некачественные конструкции требуют дополнительного (не дешевого) обследования и даже усиления.

В нормативных документах вопрос надежности конструкций решается косвенными способами: назначением толщины защитного слоя бетона, допустимой ширины раскрытия трещин, ограничением длительных напряжений и т. д. Однако пригодных для нормирования прямых методов расчета, позволяющих оценить снижение несущей способности и повышение деформативности железобетонных элементов с учетом фактора времени в зависимости от условий окружающей среды и характера дефектов, еще не разработано. Целью наших исследований явилось уточнение влияния некоторых выше отмеченных факторов на установление фактических температурных режимов прогрева и на прочность бетона в непосредственных условиях возведения высотного здания.

греваемого фрагмента поверхности прилегающего слоя старого бетона и количества противоморозного компонента добавки [1].

Количество противоморозного компонента добавки в смесях, в соответствии с сертификатом, гарантировало получение начальной прочности не менее 30% от марочной. Тепло в них появлялось после бетонирования одной «захватки», соответствующей 10 м³ бетона (или емкости одного автобетоносмесителя). Бетонные смеси соответствовали осадке конуса 8–15 см. Температура наружного воздуха соответствовала –7 (–10) °С.

По представлению авторов, забетонированный элемент стены подвергается теплотерям во внешнюю среду по схеме, приведенной на рисунке 4.

Прочность, % от R28 стандартного твердения				
44/77	42/75	44/70	46/80	47/82
48/84	52/87	53/88	52/87	51/85
47/83	49/85	51/87	50/86	49/84

Прочность бетона по высоте монолитной стены в возрасте 3 и 28 суток (в тех же точках, что на рис. 5), соответственно сверху вниз, начиная с левого края фрагмента: над чертой — через 3 сут., под чертой — через 28 сут.

Нами проведено исследование твердения монолитного бетона марки 400 с добавкой суперпластификатора С-3 + формиат натрия [4], укладываемого в стеновые конструкции 20-этажного жилого дома и подвергнутого электроразогреву греющим проводом, укрепленным на арматурном каркасе, с учетом высоты про-

Замеры температуры (рис. 5), контрольные точки для которой выбирались непосредственно у поверхности и на глубине 5 см, проводились при отрицательной наружной температуре –7 (–10) °С.

Как видно из сопоставления схемы теплопотерь, температурных замеров и определений прочности бетона с учетом вышеизложенного механизма формирования плотности железобетонного элемента, в монолитном бетонировании имеется достаточно серьезная тенденция появления (анизотропии) прочностных показателей свойств бетона и недобора марочной прочности. По-видимому, окончательные показатели прочности могут быть достигимы бетоном в более позднем возрасте, но не позднее сроков введения сооружения в эксплуатацию. Эти факты частично рассмотрены в работе [3]. В литературе [2] отмечается наличие зависимости анизотропии свойств бетона от направления бетонирования конструкций.

ВЫВОДЫ.

1. Утепление опалубки минераловатными плитами или специальными матами определяется схемой теплопотерь.
2. При распределении и закреплении на арматурном каркасе токообогревающего кабеля учитывается возможность обеспечения равномерного температурного поля по фрагменту конструкции и потери тепла на границе со старым бетоном.
3. При формировании вертикальных конструкций бетонные смеси укладывают послойно, равномерными слоями, по всей длине бетонируемого элемента с минимальным разрывом по времени, причем одной партии доставки.
4. При удовлетворительном наборе прочности железобетонный элемент после снятия опалубки сразу приобретает сухую и ровную поверхность заданного класса шероховатости.

Б. А. УСОВ, проф.,
кафедра строительных материалов,
М. Д. САВИН, МГСУ

Литература

1. Усов. Б. А., Волков В. В. «Бетонирование монолитных конструкций многоэтажных зданий из литых смесей в зимних условиях». // «Технологии бетонов», №8 и 9, 2008 г.
2. Джонс Р., Фэкзоару И. «Неразрушающие методы испытаний бетонов». — М.: «Стройиздат», 1974 г.
3. Иванов С. И., Тухтаев Б. Х., Кузеванов Д. В. «Особенности контроля прочности вертикальных конструкций из тяжелых бетонов проектного класса В45 и выше с помощью неразрушающих методов». // «Технологии бетонов», №4, 2006 г.
4. Усов Б. А. «Химизация бетона». — М.: Издательство МГОУ, 2007 г.

