

6. Проектирование и изготовление сборно-монолитных конструкций, под ред. проф. А. Б. Голышева – Киев, Будівельник, 1987, - 220 с.
7. Рабинович Р.Н., Орлов Г.Г. Расчет двухслойных балок с упругопластическими составляющими стержнями / Строительная механика и расчет сооружений, №1, 1988 – с. 24-26.
8. Ржаницын А.Р., Захаров В.М. Расчет составных стержней из неупругого материала с неупругими связями сдвига. – Строительная механика и расчет сооружений, №1, 1974 – с. 16-18.
9. Тур В.В., Шалобыта Т.П. Применение деформационной модели для расчета изгибаемых сборно-монолитных конструкций с учетом нелинейной работы связей сдвига / Вестник БГТУ. Строительство и архитектура; №1 (7), 2001 – с. 88-90.
10. Тур В.В., Рак Н.А. Прочностные и деформационные характеристики бетона в расчетах железобетонных конструкций. – Брест: изд. БГТУ, 2003 – 230 с.
11. Шалобыта Т.П. Прочность и деформативность стыковых соединений сборно-монолитных конструкций с монолитной частью из напрягающего бетона. – Дисс. канд. техн. наук. спец. 05.23.01. — БГПА, Минск, 2000. — С. 175.
12. Кондратчик Н.И. Прочность приопорной зоны сборно-монолитных самонапряженных железобетонных конструкций. – Дисс. канд. техн. наук. Спец. 05.23.01.-БГТУ, Брест, 2001. – 180 с.

УДК 624.012.4

Тур В.В., Кондратчик А.А.

ТРЕБОВАНИЯ ПО НОРМИРОВАНИЮ ТОЛЩИНЫ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ БЕТОНА, ПРИНЯТЫЕ В СНБ 5.03.01–02 «БЕТОННЫЕ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ»

Несмотря на то, что на протяжении целого ряда лет разрабатываются теоретические предложения по оценке и прогнозированию долговечности строительных объектов, инженерные методы расчета их ресурса отсутствуют практически во всех нормативных документах по проектированию железобетонных конструкций. В соответствии с п. 5.6.1 норм СНБ 5.03.01 [5] концепция долговечности при проектировании бетонных и железобетонных конструкций реализуется через выполнение расчетных условий метода предельных состояний, а также конструктивных требований, установленных в зависимости от условий, в которых эксплуатируется конструкция.

Следует отметить, что нормирование расчетных и конструктивных требований в зависимости от условий эксплуатации конструкций является одним из новых подходов, принятых в СНБ 5.03.01 [5].

Нормирование толщины защитного слоя бетона относится к разряду конструктивных требований, при выполнении которых обеспечивается как долговечность, так и эксплуатационная надежность железобетонной конструкции.

1. Краткая историческая справка

Возникновение сложного композитного материала – железобетона в 1850–1870 гг. открыло новое направление в строительстве. Однако, эйфория, вызванная применением нового «искусственного» камня быстро сменилась осознанием необходимости его глубокого исследования. Этому способствовали аварии, произошедшие во Франции (1990 г. – железобетонный мостик, построенный для Всемирной Парижской Выставки), Швейцарии (авария в г. Базель – производитель работ Генебик), Швеции (авария и повреждения мостов, гидротехнических сооружений) [1]. Первые обследования железобетонных конструкций, выполненные такими известными учеными как Риттер, Шюле, Перкун и др., показали, наличие трещин в эксплуатирующихся конструкциях и коррозионные повреждения арматуры [1].

Как отмечается в монографии [1], относящейся к 1927 году издания, среди причин, приведших конструкции к такому состоянию, установлено «...вредное влияние окружающей среды». Рекомендации, разработанные в начале XX столетия и изложенные в доступной для читателя форме, гласили: «...арматура нигде не должна выступать наружу; положение арматуры должно быть под слоем бетона толщиной 15..20 мм (при неблагоприятных условиях – 35 мм), что необ-

ходимо для обеспечения связи между железом и бетоном, а также из-за ограничения опасности ржавления и безопасности конструкции в пожарном отношении». Опубликованные в 1916 году результаты исследований немецких инженеров гласили: «...толщина защитного слоя бетона у мостовых конструкций должна быть 35 мм, а у фундаментов – 60..100 мм» [2].

Таким образом, уже на ранних этапах развития железобетона были сформулированы следующие базовые требования, исходя из которых должна назначаться толщина защитного слоя бетона:

- обеспечение совместной работы стальной арматуры с окружающим бетоном (сцепление, анкеровка, передача напряжений и т.д.);
- защита арматуры от коррозии вследствие неблагоприятного воздействия окружающей среды;
- технологичность изготовления конструкций, а главным образом обеспечение качественной укладки бетонной смеси;
- обеспечение требуемого предела огнестойкости.

Эти базовые требования сохраняют свою актуальность до настоящего времени. Необходимо отметить, что нормируемые значения толщины защитного слоя бетона претерпевали изменения в разные годы (см. таблицу 1), приводя в некоторых случаях у необоснованному снижению величины этого важного показателя.

Из анализа таблицы 1 следует, что наиболее детальные требования к назначению толщины защитного слоя бетона содержали нормы СНиП II–В.1–62. К этим требованиям приближаются величины толщины защитного слоя, установленные СНБ 5.03.01 [5]. При этом достаточно сложно объяснить упрощения и послабления требований, принятые в СНиП II–21–75 и перенесенные затем в СНиП 2.03.01–84* [6].

Следует обратить внимание и еще на одно важное, на наш взгляд, обстоятельство. В нормах [6] не оговорено, какая величина является нормируемой: *минимально* допустимая толщина или *номинальная* толщина защитного слоя. Вместе с тем, ГОСТ 13015 [14] устанавливает предельно допустимые отклонения толщины защитного слоя от *номинального* размера (см. таблицу 2), указываемого в рабочих чертежах конструкций и изделий.

Как видно из таблицы 2, для конструкций, у которых номинальная толщина защитного слоя $C_{ном}$ находится в преде-

Кондратчик Александр Аркадьевич, к.т.н., профессор каф. строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Таблица 1. Требования к толщине защитного слоя бетона (мм) железобетонных конструкций, установленные в нормативных документах разных лет

№ п/п	Вид конструкции	Нормативные документы					
		ТУиН 1939	НнТУ 123-55	СНиП II-B.1-62	СНиП II-21-75	СНиП 2.03.01-84*	СНБ 5.03.01-02
1	Колонны	25	20 ($\varnothing \leq 20$) 25 ($\varnothing \leq 32$) 30 ($\varnothing > 32$)	20 ($\varnothing \leq 20$) 25 ($\varnothing \leq 32$) 30 ($\varnothing > 32$)	20	20 не менее \varnothing	20 не менее \varnothing
2	Балки, ребра – с $h \leq 250$ мм	–	–	15	15	15 не менее \varnothing	20 не менее \varnothing
	– с $h > 250$ мм	25	20 ($\varnothing \leq 20$) 25 ($\varnothing \leq 32$) 30 ($\varnothing > 32$)	20 ($\varnothing \leq 20$) 25 ($\varnothing \leq 32$) 30 ($\varnothing > 32$)	20	20 не менее \varnothing	20 не менее \varnothing
3	Плиты – с $t \leq 100$ мм	10	10	10	10	10 не менее \varnothing	20 не менее \varnothing
	– с $t > 100$ мм	15	15	15 ($\varnothing \leq 20$) 25 ($\varnothing \leq 32$) 30 ($\varnothing > 32$)	15	15 не менее \varnothing	20 не менее \varnothing
4	Фундаменты – сборные	40	30	30	30	30	45
	– монолитные с подготовкой	40	35	35	35	35	45
	без подготовки	80	80	70	70	70	80

Примечания:
 1) В таблице приведены данные для нормальной среды эксплуатации (среда Х0 согласно СНБ 5.03.01-02).
 2) Нормы СНБ 5.03.01 устанавливают требования к минимально допустимой толщине защитного слоя C_{min} при минимальном классе бетона по прочности.

Таблица 2. Предельно допустимые отклонения толщины защитного слоя бетона, мм

Номинальный размер защитного слоя, мм	при размере поперечного сечения, мм			
	до 100	100..200	200..300	более 300
$10 \leq C_{ном} \leq 14$	+4 –	+5 –	+6 –	– –
$14 < C_{ном} \leq 19$	+4 –3	+8 –3	+10 –3	+15 –5
$C_{ном} > 19$	+5 –5	+8 –5	+10 –5	+15 –5



Рис. 1.

лах от 10 до 14 мм, отклонения в сторону его уменьшения не допускаются, т.е. $C_{nom} = C_{min}$ при $\Delta C = 0$. Это достаточно жесткое требование, которое на практике почти никогда не выдерживаются даже при производстве сборного железобетона. В случае возведения монолитных конструкций подобные требования представлены в ряде случаев только в рекомендательном порядке.

Одним из серьезных недостатков действовавших норм по проектированию СНиП 2.03.01–84* [6] и приведших к снижению долговечности конструкций следует считать и то обстоятельство, что требования по назначению толщины защитного слоя (минимально допустимого или номинального) не связывали с условиями окружающей среды, в которой эксплуатируется конструкция в составе строительного объекта. Это дало возможность использовать, например, плиты пустотного настила при возведении балконов и лоджий, мостовых пешеходных переходов и т.д., т.е. там, где условия их эксплуатации далеки от характеристик среды внутри жилых, общественных и гражданских зданий.

Опыт обследования железобетонных и предварительно напряженных сборных конструкций, как эксплуатировавшихся 10–20 лет, так и находящихся на строительной площадке, показывает, что значительное их количество имеет дефекты и коррозионные повреждения арматуры, связанные с недостаточной толщиной защитного слоя бетона (см. рисунок 1). В то же время, монолитные конструкции, эксплуатировавшиеся в агрессивных условиях промышленных предприятий более 50 лет, имея более значительные толщины защитного слоя бетона, находятся, в ряде случаев, в удовлетворительном состоянии. Это позволяет сделать вывод о том, что принятые в СНиП 2.03.01–84* [6] толщины защитных слоев бетона в ряде случаев недостаточны для обеспечения эксплуатационной пригодности железобетонных конструкций и, несмотря на кажущиеся одновременные выгоды экономического характера, приводят к значительным расходам на восстановление их после ограниченного периода эксплуатации, не соответствующего сроку службы объекта.

2. Подходы, принятые при назначении нормируемой толщины защитного слоя бетона

При проектировании железобетонных и предварительно напряженных конструкций в соответствии с требованиями, установленными нормами [10–12], в рабочих чертежах проекта следует указывать *номинальную* толщину защитного слоя бетона C_{nom} (рисунок 2), связанную с нормируемой минимально допустимой толщиной защитного слоя C_{min} следующей зависимостью:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c, \quad (1)$$

где C_{min} – минимально допустимая толщина защитного слоя бетона, принимаемая как большее из значений, необходимых для: а) обеспечения совместной работы арматуры с окружающим бетоном; б) защиты арматуры от коррозии при воздействии окружающей среды; в) обеспечения требуемой огнестойкости конструкции; Δc – нормируемое отклонение толщины защитного слоя, связанное с особенностями технологии изготовления конструкций.

Здесь следует оговориться, что СНБ 5.03.01–02 [5], как и большинство европейских норм [11], за исключением BS8110 [10], не рассматривают требований, относящихся непосредственно к обеспечению огнестойкости конструкций. Этот вопрос является специальным и его подробное рассмотрение выходит за рамки настоящей статьи.

Минимально допустимую толщину защитного слоя бетона, необходимую для обеспечения надежной совместной работы арматуры с окружающим бетоном, а также качественной его укладки, согласно СНБ 5.03.01–02 [5] назначают из условий, в соответствии с которыми она должна составлять:

- не менее диаметра арматуры, если диаметр арматуры не превышает 40 мм;

- не менее максимального зерна крупного заполнителя (d_3), если размер заполнителя удовлетворяет условию $d_3 \leq 32$ мм;
- не менее $d_3 + 5$ мм, если размер максимального зерна заполнителя $d_3 > 32$ мм.

Принятые ограничения достаточно хорошо обоснованы результатами исследований, приведенных, например, в работах проф. М.М. Холмянского [24] и не требуют детального комментария.

Остановимся несколько более подробно на подходах, принятых в нормах [5, 10–12] при назначении минимально допустимой толщины защитного слоя бетона C_{min} исходя из требований защиты арматуры от коррозии.

Как отмечается в работе [25] длительная эффективность и безаварийная эксплуатация железобетонных конструкций обусловлена комплексом факторов, основными из которых являются:

- сохранение бетоном первоначальных свойств, установленных требованиями проекта;
- сохранность арматуры в бетоне в течение всего назначенного срока эксплуатации зданий и сооружений;
- выбор специальных мер защиты бетона и арматуры применительно к условиям эксплуатации.

Таким образом, подходы к назначению минимально допустимой толщины защитного слоя бетона с точки зрения обеспечения защиты арматуры от коррозии неразрывно связаны с условиями окружающей среды, в которой эксплуатируется конструкция. Вслед за европейскими нормами [10–12] нормы СНБ 5.03.01–02 [5] и проект СТБ [26] впервые в отечественной практике выделяют классы сред по условиям эксплуатации конструкции, которые в наиболее общем виде могут быть представлены:

X0 – среда без признаков агрессии;

XC – среды, вызывающие коррозию, связанную с карбонизацией бетона;

XD – среды, связанные с воздействием хлоридов;

XF – попеременное замораживанием–оттаивание, вызывающее морозную деструкцию;

XA – химическая агрессия.

В соответствии с [26] характер воздействия в зависимости от класса окружающей среды оценивается по возрастающей степени. Так, на основании данных, приведенных в работе [27] для каждой из выделенных сред может быть присвоен соответствующий коэффициент (индекс) агрессивности (D). Если принять, что для X0 $D = 1,05$, то для сред класса XC этот показатель изменяется от 2,07 до 2,35, а для сред XD – от 3,1 до 3,8 (см. таблицу 3).

Необходимо отметить, что окружающая среда оказывает непосредственное воздействие на бетон и опосредованное – на арматуру. Таким образом состояние бетона, контактирующего с арматурой предопределяет условия развития и интенсивность протекания коррозионных процессов.

Анализируя классы, характеризующие воздействие окружающей среды на конструкцию из бетона можно отметить следующее. Во-первых, в реальной практике почти полностью отсутствуют условия, соответствующие классу X0. Наиболее распространенными условиями эксплуатации являются классы XC и XD. Во-вторых, условия, относящиеся к классу XF и предназначенные для учета возможности т.н. саморазрушения бетона ввиду морозной деструкции не связаны непосредственно с требованиями по назначению величины толщины защитного слоя бетона, а определяются, главным образом, показателями качества, относящимися к обеспечению морозостойкости бетона (см. таблицу 4). Необходимо отметить, что в таблицах 11.4 и 11.12 СНБ 5.03.01–02 совместно с классом XD *ошибочно* внесены классы XF, относящиеся к разрушению, обусловленному морозной деструкцией. Естественно, что их следует исключить при нормировании толщины

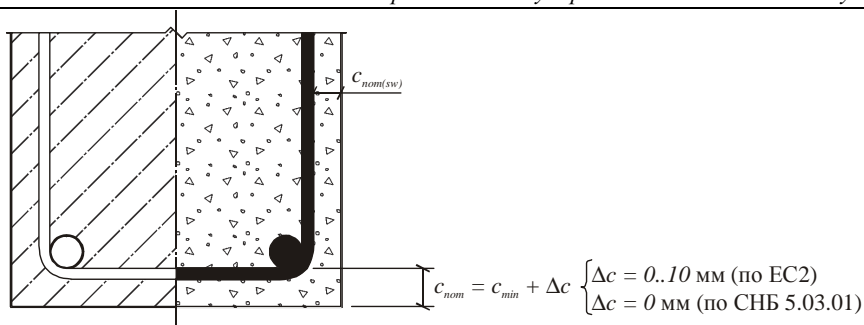


Рис. 2.

Таблица 3. Технологические параметры бетонных смесей по проекту СТБ «Бетоны конструкционные тяжелые» и соответствующие им расчетные значения минимальной толщины защитного слоя согласно [5]

Показатели	Отсутствие агрессии	Карбонизация				Хлоридная коррозия			Химическая коррозия		
	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XA1	XA2	XA3
Максимальное В/Ц	–	0,65	0,60	0,55	0,50	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45
Минимальный расход цемента, кг/м ³		260	280	280	300	300	300	320	300	320	360
Индекс агрессивности D по формуле (2)	1,05	2,07÷2,35				3,10÷3,80			> 4,20		
Расчетная величина C _{min(p)} (мм) по формуле (3)	≥ 8	от 14,21 до 25,4				от 17,3 до 38,7			–		

Таблица 4. Рекомендуемые технологические требования, предъявляемые к бетону железобетонных конструкций для обеспечения стойкости против морозной деструкции

Класс по условиям эксплуатации согласно таблицы 5.2	Расчетные (проектные) показатели качества для бетона			Дополнительные требования	
	минимальный класс бетона по прочности на сжатие	водоцементное отношение	минимальный расход цемента (кг/м ³)		
XF1	a*)	C ³⁰ / ₃₇	0,60	280	–
	b	C ³⁰ / ₃₇	0,55	300	–
	c	C ³⁰ / ₃₇	–	–	–
XF2	a	C ³⁰ / ₃₇	0,55	300	воздухововлечение ≈ 3,5 %
	b	C ²⁵ / ₃₀	0,60	280	min воздухововлечение 4 %
	c	C ²⁵ / ₃₀	–	–	–
XF3	a	C ²⁵ / ₃₀	0,60	280	морозостойкий заполнитель + воздухововлечение ≈ 3,5 %
		C ⁴⁰ / ₅₀	0,45	340	морозостойкий заполнитель
	b	C ³⁰ / ₃₇	0,50	320	морозостойкий заполнитель + min воздухововлечение 4 %
	c	C ³⁰ / ₃₇	–	–	морозостойкий заполнитель
XF4	a	C ³⁰ / ₃₇	0,55	300	морозостойкий заполнитель + воздухововлечение ≈ 3,5 %
		C ⁴⁰ / ₅₀	0,45	340	морозостойкий заполнитель + воздухововлечение ≈ 3,5 %
	b	C ³⁰ / ₃₇	0,45	340	морозостойкий заполнитель + min воздухововлечение 4 %
	c	C ³⁰ / ₃₇	–	–	морозостойкий заполнитель

Примечания:

*) В таблице обозначены – (a) – BS EN 206–1 / BS8500 [28]; (b) – EN–206–1 [29]; (c) – СНБ 5.03.01 [5] + проект СТБ «Бетоны конструкционный тяжелые» [26].

1) Если условия эксплуатации конструкции характеризуются одновременным действием классов XC, XD и XF, то минимальную толщину защитного слоя следует принимать по требованиям, относящимся к классам XC и XD, не принимая во внимание класс XF.

2) Если условия эксплуатации конструкции характеризуются одновременным действием классов (XF2–XF4) в сочетании с классами, для которых устанавливаются более высокие требования по минимальной прочности бетона, чем это установлено XF, допускается снижать минимальный класс бетона на одну ступень в случае использования воздухововлекающих добавок и при условии, что все другие ограничения выполнены.

защитного слоя бетона. Защита арматуры в условиях химической агрессии (ХА) определяется требованиями специальных норм [7].

Таким образом, при назначении минимально допустимой толщины защитного слоя бетона в железобетонных конструкциях массового изготовления определяющее влияние имеют коррозионные повреждения, обусловленные карбонизацией бетона и воздействием хлоридов (хлор-ионов).

Так, в соответствии со сформировавшимися представлениями щелочная среда бетона способствует образованию на поверхности стальной арматуры пассивирующей пленки. Согласно диаграмме Пурде [17], пассивное состояние стали обеспечивается при показателе $pH = 12,0 \div 12,5$. граница пассивирующего воздействия гидрата окиси кальция в поровом растворе бетона определяется значениями $pH \approx 12,0$ (при свободном доступе воздуха) и $pH = 11,5$ (при ограниченном доступе воздуха) [19]. Потеря защитных свойств бетона по отношению к стальной арматуре происходит в результате карбонизации (или, в некоторых источниках, например [12], «карбонатизации») бетона. Развитие процесса карбонизации приводит к снижению показателя $pH \leq 9,0$ (для нормальных условий этот показатель составляет $pH = 10,5 \div 11,5$), что создает условия для развития коррозионных процессов. Обширные исследования [16, 17, 19] показывают, что длительность пассивирующего воздействия бетона зависит, главным образом, от его плотности и косвенно определяется расходом вяжущего, водоцементным отношением, видом применяемых минеральных добавок и химически синтезированных модификаторов структуры и т.д.

В настоящее время предложено достаточно много различных методик [17, 20], позволяющих с установленной вероятностью прогнозировать скорость (интенсивность) развития процесса карбонизации бетона. Однако, в большинстве случаев эти предложения не доведены до состояния инженерных методов расчета.

Коррозия, обусловленная действием хлор-ионов, создает опасность раннего разрушения железобетонных конструкций. Высокая концентрация хлоридов в защитном слое бетона приводит к депассивации арматуры и локальным разрывам в защитной пассивирующей пленке. Коррозионные условия еще более усугубляются при попеременном увлажнении-высушивании бетона конструкции. Действие хлор-ионов на бетон, подвергшийся карбонизации, способствует повышению скорости развития коррозии [17, 20].

Кроме того, необходимо обратить внимание на еще одно обстоятельство, относящееся к хлоридной коррозии, подробно описанное в статье [25]. В течение многих лет специалисты по арматурным сталям совместно со специалистами по коррозии арматуры изучали влияние химического состава сталей и технологических параметров на комплекс механических и эксплуатационных (в том числе коррозионных) свойств арматуры. Исследованиями установлено, что высокопрочные стали проявляют стойкость к коррозионному растрескиванию в сочетании с воздействием хлоридов. Поэтому были разработаны специальные арматурные термомеханически упрочненные стали, стойкие к коррозионному растрескиванию. Разработка и выпуск арматурных сталей, упрочненных в потоке прокатного стана (например, S400, S500) и имеющих упрочненный поверхностный слой, приводит к обратному эффекту. Вместе с тем, как следует из [18, 25], системные исследования коррозионной стойкости таких сталей не выполнялись. В этой ситуации является обоснованным некоторое увеличение минимально допустимой толщины защитного слоя по отношению к требованиям, установленным СНиП 2.03.01 [6] применительно к таким сталям, применяемым в условиях, описываемых классами XD.

В силу перечисленных обстоятельств при назначении минимально допустимой толщины защитного слоя бетона нормы [5] в зависимости от условий эксплуатации конструкции (класса окружающей среды) устанавливают требования к плотности бетона, косвенно характеризуемой минимальным

расходом цемента, максимальным водоцементным отношением и минимальным классом бетона по прочности на сжатие (см. таблицу 5). Аналогичные подходы приняты в проекте СТБ [26] и нормах СНБ 5.03.01 [5] (см. таблицы 3 и 6).

В работе [27] приведена эмпирическая зависимость, связывающая минимально допустимую толщину защитного слоя бетона, индекс агрессивности (D) окружающей среды (см. таблицу 3), минимальный расход цемента и водоцементное отношение в виде:

$$D = K \frac{C_{min}}{w_f^2}, \quad (2)$$

где C_{min} – минимально допустимая толщина защитного слоя бетона; w_f – количество свободной (химически не связанной) воды, определяемое по формуле:

$$w_f = C_{min} \left(\left(\frac{B}{C} \right)_{max} - 0,25 \right)$$

здесь C_{min} – минимальное содержание цемента;

$\left(\frac{B}{C} \right)_{max}$ – максимальное водоцементное отношение;

D – индекс агрессивности среды по отношению к среде, характеризуемой классом X0 (см. табл. 3);

K – коэффициент пропорциональности, принимаемый равным 1000.

Преобразуя зависимость (2), минимально допустимая толщина защитного слоя C_{min} для данных таблицы 3 может быть ориентировочно рассчитана по формуле:

$$C_{min(p)} = \frac{D \cdot w_f^2}{K}. \quad (3)$$

Расчетные значения минимально-допустимой толщины защитного слоя $C_{min(p)}$ для различных сред эксплуатации представлены в таблице 3, а в таблице 6 приведены и значения минимально допустимой толщины защитного слоя, принятые в СНБ 5.03.01 [5].

В соответствии с принятой концепцией назначения проектной номинальной толщины защитного слоя C_{nom} следует остановиться на нормировании величины отклонения ΔC , связанного с точностью изготовления конструкции. Так, в соответствии с требованиями норм [11], отклонение ΔC следует принимать:

- для сборных конструкций (в зависимости от наличия обеспеченной в соответствии с ISO системы контроля качества) от 0 до 10 мм;
- для монолитных конструкций от 5 до 10 мм.

Приведенные отклонения были получены в работах [25] по результатам статистической обработки опытных данных, относящихся к измерению толщины защитных слоев различных конструкций в странах Европы. К сожалению, к моменту составления норм СНБ 5.03.01 [5] подобные данные в Республике Беларусь имелись в недостаточном объеме. Поэтому назначенные величины минимальной толщины защитного слоя соответствуют номинальной толщине C_{nom} , указываемой в проекте при $\Delta C = 0$ (по формуле (1)), вместе с тем, учитывая возможные отклонения в толщине защитного слоя, неизбежно возникающие при изготовлении конструкции.

Следует еще раз отметить, что требования по назначению минимальной толщины защитного слоя по п. 11.2.10–11.2.14 СНБ 5.03.01 [5] относятся к обеспечению условий защиты от коррозии арматуры при выполнении т.н. *первичной* защиты. Существуют ли возможности снижения толщины защитного слоя менее значений, установленных в перечисленных проектах норм [5]?

Таблица 5. Рекомендуемые технологические и конструктивные требования для конструкций из тяжелого бетона в зависимости от классов по условиям эксплуатации (срок службы – 50 лет; максимальный размер зерна заполнителя – 20 мм)

Класс по условиям эксплуатации согласно таблицы 5.2		Минимальный класс бетона по прочности на сжатие, максимальное водоцементное отношение и минимальный расход цемента (кг/м ³) при номинальной толщине защитного слоя $C_{\text{нотз}}$, мм					
		$15 + \Delta C^{**}$	$20 + \Delta C$	$25 + \Delta C$	$30 + \Delta C$	$35 + \Delta C$	$40 + \Delta C$
		XC1	a*)	$C^{20}_{/25}$ 0,70; 240	<<	<<	<<
b	$C^{20}_{/25}$ 0,65; 260		<<	<<	<<	<<	<<
c	–		–	$C^{16}_{/20}$ 0,65; 240	<<	<<	<<
XC2	a	–	–	$C^{25}_{/30}$ 0,65; 260	<<	<<	<<
	b	–	–	$C^{25}_{/30}$ 0,60; 280	<<	<<	<<
	c	–	–	–	$C^{20}_{/25}$ 0,60; 260	<<	<<
XC3	a	–	$C^{40}_{/50}$ 0,45; 340	$C^{30}_{/37}$ 0,55; 300	$C^{30}_{/37}$ 0,60; 280	$C^{25}_{/30}$ 0,65; 260	<<
	b	–	–	–	$C^{30}_{/37}$ 0,55; 280	$C^{30}_{/37}$ 0,50; 300	<<
	c	–	–	–	$C^{25}_{/30}$	<<	<<
XC4	a	–	$C^{40}_{/50}$ 0,45; 340	$C^{30}_{/37}$ 0,55; 300	$C^{30}_{/37}$ 0,60; 280	$C^{25}_{/30}$ 0,65; 260	<<
	b	–	–	–	$C^{30}_{/37}$ 0,55; 280	$C^{30}_{/37}$ 0,50; 300	<<
	c	–	–	–	$C^{25}_{/30}$	<<	<<
XD1	a	–	–	$C^{40}_{/50}$ 0,45; 360	$C^{30}_{/37}$ 0,55; 320	$C^{30}_{/37}$ 0,60; 300	<<
	b	–	–	–	$C^{30}_{/37}$ 0,55; 300	<<	<<
	c	–	–	–	–	–	$C^{30}_{/37}$
XD2	a	–	–	–	–	$C^{30}_{/37}$ 0,55; 320	<<
	b	–	–	–	–	$C^{30}_{/37}$ 0,55; 300	<<
	c	–	–	–	–	–	$C^{30}_{/37}$
XD3	a	–	–	–	–	$C^{45}_{/55}$ 0,35; 380	<<
	b	–	–	–	–	$C^{35}_{/45}$ 0,45; 320	<<
	c	–	–	–	–	–	$C^{30}_{/37}$

Примечания:
*) В таблице обозначены – (a) – BS EN 206–1 / BS8500 [28]; (b) – EN–206–1 [29]; (c) – СНБ 5.03.01 [5].
**) Отклонения по толщине защитного слоя ΔC установлены:
– по европейским нормам от 5 до 10 мм;
– по СНБ 5.03.01 – 0.

Таблица 6. Минимально допустимая толщина защитного слоя бетона по СНБ 5.03.01–02 (таблицы 11.4 и 11.12 [5])

Показатели	Класс по условиям эксплуатации						
	X0	XC1	XC2–XC4	XD1–XD3	XA1	XA2	XA3
Минимальный размер защитного слоя, мм	20 (20)	25 (30)	30 (35)	40 (50)	25 (35)	30 (40)	40 (50)

Примечания:
1) В скобках указаны минимально допустимые толщины защитного слоя бетона для предварительно напряженных конструкций.
2) Для сборных конструкций допускается снижать толщину защитного слоя бетона на 5 мм по сравнению с указанными в таблице 6.
3) Для поперечной и распределительной арматуры в конструкциях, работающих в условиях нормальной и слабоагрессивной сред следует принимать минимально допустимую толщину защитного слоя не менее 15 мм.
4) В таблице приведены минимальные размеры толщины защитного слоя для арматуры, работающей с полным расчетным сопротивлением.

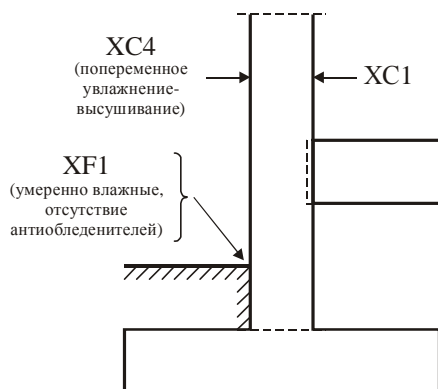


Рис. 3.

Из анализа представленных ранее положений следует, что минимальная толщина защитного слоя бетона C_{min} по таблице 6 может быть снижена на 5 мм в каждом из перечисленных случаев:

- при повышении класса бетона по прочности на сжатие на каждый разряд по отношению к минимальному по таблице 5.2 СНБ 5.03.01 [5];
- при проектировании *вторичной* защиты бетона в виде специальных пропиток, обмазок и т.д.;
- при использовании арматуры, имеющей антикоррозионные покрытия.

Минимальную толщину защитного слоя для плит с высотой сечения менее 100 мм допускается снижать на 5 мм по сравнению со значениями, указанными в СНБ 5.03.01 [5].

При этом суммарное снижение размера минимально допустимой толщины защитного слоя бетона не должно быть более 15 мм, а минимально допустимая толщина защитного слоя для сборных и монолитных конструкций должна составлять $C_{min} \geq 15$ мм.

Учитывая то обстоятельство, что параметры, содержащиеся в таблицах 11.4 и 11.12 [5], связаны сроком службы объекта 50 лет, при увеличении, например, его до 100 лет минимальная толщина защитного слоя по п. 11.2.10 СНБ 5.03.01 увеличивается на 10 мм. Промежуточные значения толщины защитного слоя для других сроков службы могут быть определены из зависимости [12]:

$$C_t = 0,15 \cdot C_{min} \cdot \sqrt{t}, \quad (4)$$

где t – срок службы объекта (лет).

Сформулированные положения, относящиеся к возможным способам снижения величины минимальной толщины защитного слоя бетона будут внесены в виде дополнений в СНБ 5.03.01–02 «Бетонные и железобетонные конструкции».

Изменение в подходах к нормированию минимально допустимой толщины защитного слоя и минимальных классов бетона по прочности на сжатие по СНБ 5.03.01 [5], безусловно, вызовет необходимость корректировки в некоторых случаях рабочих чертежей сборных железобетонных конструкций с учетом новых требований. Но даже в том случае, когда конструкции, изготавливаемые по действующим сериям удовлетворяют новым требованиям с точки зрения обеспечения C_{nom} , их применение в составе объекта должно оцениваться исходя из условий окружающей среды.

В заключение рассмотрим пример назначения толщины защитного слоя стены отапливаемого подвала здания. Идентифицированные классы по условиям окружающей среды показаны на рисунке 3. Вторичная защита бетона не предусмотрена.

Из предварительного расчета при действующей системе усилий получено, что требуемый класс бетона по прочности на сжатие соответствует $C^{25}/_{30}$.

Для идентифицированных классов по условиям окружающей среды по таблице 5.2 [5] и таблице 11.4 [5] принимаем:

$$\begin{aligned} \text{XC1} : C^{16}/_{20}; & \quad C_{min} = 25 \text{ мм}; \quad \Delta C = 0; \quad C_{nom} = 25 \text{ мм}; \\ \text{XC4} : C^{30}/_{37}; & \quad C_{min} = 30 \text{ мм}; \quad \Delta C = 0; \quad C_{nom} = 30 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Как было отмечено ранее, эксплуатационный класс XF1 не оказывает влияния на толщину защитного слоя, но определяет выбор минимального класса бетона по прочности на сжатие. Согласно таблице 5.2 [5] для класса по условиям эксплуатации XF1 принимаем $C^{30}/_{37}$. Учитывая то обстоятельство, что конструкция стены выполняется одновременно в монолитном исполнении, принимаем минимальный требуемый класс бетона по прочности при сжатии из обеспечения условий долговечности $C^{30}/_{37}$. Тогда для арматуры, располагаемой у внутренней грани подвала номинальная толщина защитного слоя может быть снижена на 5 мм (в силу повышения класса по прочности на сжатие на два разряда по отношению к $C^{16}/_{20}$). окончательно получаем: для обеспечения условий эксплуатационной надежности стены подвала в течение срока 50 лет следует ее выполнить из бетона класса $C^{30}/_{37}$, обеспечив номинальную толщину защитного слоя для арматуры, располагаемой у наружной грани $C_{nom} = 30$ мм, а у внутренней – $C_{nom} = 20$ мм. Класс бетона по прочности на сжатие может быть уменьшен на одну ступень до требуемого из расчета по действующим усилиям (т.е. $C^{25}/_{30}$) при устройстве на наружной грани вторичной защиты. Тогда номинальная толщина защитного слоя для арматуры, расположенной у внутренней грани, составит $C_{nom} = 25$ мм.

Выводы

Требования по назначению минимально допустимой толщины защитного слоя, принятые в СНБ 5.03.01 [5], обеспечивают более высокую долговечность и эксплуатационную надежность железобетонных конструкций по сравнению со СНиП 2.03.01 [6] и, в основном, соответствуют базовым требованиям европейских норм.

Типовые серии на сборные железобетонные конструкции, разработанные до 1 июня 2003 года, следует применять с учетом классов по условиям эксплуатации согласно таблицы 5.2 [5]. В случае, если сборные конструкции, производимые по типовым сериям не удовлетворяют требованиям СНБ 5.03.01 [5], их рабочие чертежи должны быть переработаны. При этом необходимо определить оптимальную номенклатуру сборного железобетона, используемого в массовом строительстве.

Необходимо внести разъяснения и дополнения в п.п. 11.2.10–11.2.14 СНБ 5.03.01 [5], относящиеся к возможным способам снижения требований к размеру минимальной толщины защитного слоя без снижения долговечности конструкции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ф.Г. Гаузе. Железобетон в XX веке/ изд. автора.– М.: 1927.– 108 с.
2. А.С. Карпунин. Железобетонные конструкции/ Изд. 2-е, перераб.– Гос. изд. лит-ры по строительству и архитектуре.– М.: 1957.– 442 с.
3. С. Чемпион. Дефекты и ремонт бетонных и железобетонных сооружений/ Пер. с англ. В.Д. Шапиро.– М.: Стройиздат, 1967.– 152 с.
4. Г. Руфферт. Дефекты бетонных конструкций/ Пер. с нем. И.Г. Зеленцева.– М.: Стройиздат, 1987.– 111 с.
5. СНБ 5.03.01–02. Бетонные и железобетонные конструкции.– Мн.: Минстройархитектуры РБ, 2003.– 139 с.
6. СНиП 2.03.01–84*. Бетонные и железобетонные конструкции.– М.: Госстрой СССР, 1985.– 79 с.
7. СНиП 2.03.11–85. Защита строительных конструкций от коррозии.– М.: Госстрой СССР, 1986.– 46 с.
8. DIN 1045–1. Tragenwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton. Teil 1: Bemessung und Konstruktion.– Berlin, 1998.– 178 p.
9. СНБ 2.02.01–98*. Пожарно-техническая классификация зданий, строительных конструкций и материалов.– Мн.: Минстройархитектуры РБ, 2001.
10. BS 8110. Structural Use of Concrete – Part 1: Code for Practice and Design and Construction British Standard Institution, London, 1992.
11. EN 1992–1:2001 (Final Draft, April, 2002) Eurocode–2: Design of Concrete Structures – Part 1: General Rules and Rules for Building.– Brussels.– 2002, October.– 230 p.
12. PN–B–03264. Konstrukcje betonowe, żelbetowe I sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie.– Warszawa, 1999.
13. Рекомендации по обследованию зданий и сооружений, поврежденных пожарами/ НИИЖБ Госстроя СССР.– М.: Стройиздат, 1987.– 80 с.
14. ГОСТ 13015. Конструкции и изделия бетонные и железобетонные.
15. Справочное пособие по пределам огнестойкости строительных конструкций/ Инф. бюллетень пожарной безопасности № 5.– Мн.: НИИПБиПЧС, 2002.– с. 44–116.
16. Эксплуатационная надежность зданий и сооружений. Тезисы докладов совещания-семинара.– Минск, 21–22 ноября 1995 г.– Мн.: Минстройархитектуры РБ, 1995.– 99 с.
17. В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Е.А. Гузев. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты.– М.: Стройиздат, 1980.– 536 с.
18. В.Д. Терин. Совершенствование ненапрягаемой арматуры железобетонных конструкций// Эффективные строительные материалы, конструкции и технологии.– Междунар. научно-практ. конф.– Сб. научн. трудов. Под ред. Н.П. Блещика.– Мн.: Технопринт, 2000.– с. 456–462.
19. Бабушкин В.И., Матвеев Г.М., Мчедлов–Петросян О.П. Термодинамика силикатов.– М.: 1972.
20. Васильев А.И., Подвальный А.М. Прогноз коррозии арматуры железобетонных конструкций автодорожных мостов в условиях хлоридной агрессии и карбонизации/ Бетон и железобетон.– М.: № 6, 2002.– с. 27–32.
21. Бариев Э.Р. Система противопожарного нормирования и стандартизации Республики Беларусь. Опыт и перспективы развития. Пожарно-техническая квалификация строительных материалов, конструкций и зданий (СНБ 2.02.01–98): новые требования и подходы/ Сб. докл. республ. семинара от 12–13 июля 2001 г.– Мн.: НИИ ПБиПЧС МЧС РБ, 2001.– с. 2–9.
22. Сычев В.И., Жуков В.В. Огнестойкость строительных конструкций.– М.: ЦИНИС Госстроя СССР, 1976.– 61 с.
23. А.Ф. Милованов. Огнестойкость железобетонных конструкций.– М.: Стройиздат, 1986.– 224 с.
24. Холмянский М.М. Сцепление арматуры с бетоном.– М.: Стройиздат, 1987.– 1987.
25. Степанова В.Ф. Проблема долговечности железобетона в современном строительстве// Бетон и железобетоне, № 5, 2002.– с. 18–19.
26. СТБ «Бетоны тяжелые конструкционные» (проект).
27. Concrete Structures: Eurocode EC 2 and BS 8110 Compared.
28. BSE 206–1/BS 8500. Concrete. Performance, Production, Placing and Compliance Criteria.
29. EN 206. Concrete. Performance, Production, Placing and Compliance Criteria.

УДК 624

**Бондаренко В.М., Колчунов В.И., Воробьев Е.Д.,
Осовских Е.В., Доценко В.Н.**

**К ВОПРОСУ КОНСТРУКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СБОРНО-МОНОЛИТНЫХ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КАРКАСОВ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ**

Реализация в строительстве изменений к СНиП II-3-79* по теплотехнике потребовала создания и введения в хозяйственный оборот качественно новых строительных технологий, типов зданий и сооружений. Попытки быстро решить эту проблему, в том числе путем адаптации зарубежных технологий без соответствующего научно-технического сопровождения, включая весь комплекс расчетной и экспериментальной проверки, уже на стадии проектирования приводят к снижению эксплуатационных характеристик зданий, а главное – к снижению их надежности и конструктивной безопасности. Анализ отечественной практики проектирования и строительства зданий и сооружений в последнее десятилетие показал, что проектная документация выполняется чаще всего поэтапно и подвергается экспертизе далеко не в полном объеме, определенном нормативно-техническими требованиями. Особенно остро проблема безопасности и качества встает при проектировании сложных и ответственных конструктивных

систем на региональном уровне, в связи с резким сокращением в рыночных условиях деятельности крупных специализированных НИИ и проектных институтов, обеспечивавших ранее разработку и научно-техническое сопровождение ответственных и сложных проектов.

В настоящей статье рассмотрены некоторые вопросы конструктивной безопасности применительно к сборно-монолитным каркасам зданий, получающим распространение в республике Беларусь и на территории некоторых приграничных областей России (Белгородская, Орловская, Смоленская) [1, 2, 3]. Как отмечается в [4], достаточная нормативная база по проектированию таких конструкций даже в монолитном исполнении в России и Беларуси отсутствует. Это напрямую отражается на качестве проектирования таких конструктивных систем и, как следствие, – на их конструктивной безопасности.

Известно, что расчет железобетонных каркасов с плоски-

Бондаренко В.М., доктор технических наук, профессор, академик РААСН и РИА (МИКХиС)

Колчунов В.И., доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН

Воробьев Е.Д., инженер, Орловский государственный технический университет

Осовских Е.В., кандидат технических наук, доцент, Московский государственный университет путей сообщения

Доценко В.Н., инженер, «Белгородгражданпроект»