

УДК 691.5:691.3

*Рунова Р.Ф., докт.техн.наук, профессор  
Руденко И.И., канд.техн.наук, ст.науч.сотр.  
Ластивка О.В., аспирант  
Научно-исследовательский институт вяжущих  
веществ и материалов им. В.Д.Глуховского  
Киевского национального университета  
строительства и архитектуры, Украина, г. Киев*

## ДОСТОВЕРНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ В СИСТЕМЕ «ЦЕМЕНТ – БЕТОН»

### *1. Введение*

Уникальность современных строительных объектов выдвигает в качестве одной из приоритетных задач для производителей бетона – достоверность данных о его прочности как одной из составляющих долговечности конструкций. Долговечность же таких конструкций исчисляется минимальным сроком эксплуатации в 100 лет, который в значительной мере диктуется системой «цемент – бетон». Отсюда следует высокая значимость достоверности испытаний цемента и бетона, прежде всего, по показателю прочности как определяющего в характеристике сопротивления материала воздействующей нагрузке. Нагрузка может иметь разную природу и тогда следует говорить о прочности при сжатии, растяжении при изгибе, при раскалывании и пр., однако сопротивление сжатию остается главной характеристикой прочности бетона. Эти простейшие классические понятия требуют современных уточняющих комментариев, объем которых увеличивается по мере усложнения самого бетона и конструкций, для которых он предназначен (например, тип цемента и класс его прочности или марка, тип бетона, срок испытаний, условия твердения, среда эксплуатации и пр.).

С учетом стремления отечественной строительной отрасли к максимальному переходу на европейские нормы, целью данного аналитического обзора является акцентирование внимания исследователей и производителей на тех вопросах, которые зафиксированы в нормативных документах Украины, касающихся всех сторон определения прочности цемента и бетона, а также регламентирование достоверности определения этих показателей разными методами, в том числе с учетом характеристик однородности прочности. При этом цемент рассматривается вне отрыва от своего основного «потребителя» – бетона.

### *2. Есть ли принципиальные различия в методах определения прочности цемента?*

Ушли в прошлое ГОСТ 310.1-76 и ГОСТ 310.4-81 и уже около 3-х лет определение прочности цемента производится по национальному стандарту ДСТУ Б В.2.7-187, входящему в систему стандартов на испытания цемента. Одновременно действующим в Украине является ДСТУ EN 196-1 как идентичный европейской норме. Различия между этими двумя стандартами по существу касаются двух позиций: качества песка и значений В/Ц (табл. 1). Остальные позиции норм – условия приготовления смесей, формирования образцов, условий хранения образцов и их испытаний – являются идентичными и требуют неукоснительного соблюдения для получения достоверных результатов.

Оценка прочности по ДСТУ EN 196-1 производится согласно п.10.2.1 с указанием допустимой степени отклонения единичных результатов от результата определения средней

прочности (10%). При этом предусматриваются такие оценки, как кратковременное совпадение и долговременное совпадение, которые свидетельствуют об уровне организации испытаний и характеризуются соответственно отклонениями *меньше 2%* и *меньше 3,5%* (коэффициент вариации для оценки прочности цемента). Кроме того, норма предусматривает подтверждение достоверности показателей прочности испытаниями в разных лабораториях на разных партиях и разными исполнителями, что оценивается коэффициентом вариации не более 4%. По существу воспроизводимость является оценкой точности метода определения прочности.

Таблица 1

ДСТУ Б В.2.7-187	ДСТУ EN 196-1
<b>п.5.</b> Используется стандартный песок по ДСТУ Б В.2.7-189 с контрольными ситами 0,9 и 0,5 мм, который подлежит проверке соответствия по приложению А.	<b>п.5.1.</b> Используется стандартный песок CEN, пригодность которого подлежит проверке в сравнении с эталонным песком по <b>п.11.2</b> с определением показателя прочности стандартных образцов раствора 1:3. Гранулометрия стандартного песка оценивается полным остатком на ситах 2,00 ... 0,08
<b>п.4.</b> Водоцементное отношение принимается 0,39 с его корректировкой согласно <b>п. 6.2.1.4.</b> для доведения распыла на встряхивающем столике до значений не менее 106 мм.	<b>П.3.</b> Водоцементное отношение принимается 0,5 без какой-либо его корректировки.

Согласно ДСТУ Б В.2.7-187 производятся те же операции по определению прочности по п.6.3., а оценка достоверности осуществляется по **п.6.4.3** с некоторыми отличиями в значениях коэффициента вариации: кратковременное совпадение характеризуется его значением «*не менее 3%*», долговременное совпадение «*не менее 4%*», что является очевидной опечаткой по тексту.

Оценке уровня качества цемента уделяет внимание стандарт ДСТУ Б В.2.7-112, используя критерии соответствия – статистические и критерий для единичных результатов. Предложен расчетный механизм с использованием понятий и обозначений, принятых в европейской норме EN 197-1, суть которого сводится к определению константы приемки «К», зависящей от среднеквадратичных отклонений по результатам испытаний за контрольный период.

Таким образом, производители и потребители цемента имеют достаточную отечественную нормативную и техническую базы для достоверной оценки прочности цемента.

### 3. Стандартная прочность, марка или класс цемента по прочности

Рассмотрение этих понятий в хронологическом порядке их формирования позволяет обратиться сначала к ДСТУ Б В.2.7-112-2002, в котором регламентируются данные о граничных значениях для единичных результатов испытаний цемента (табл. 2) по ранней и стандартной прочности. Здесь же используется кроме понятия *марки* понятие *класса прочности* как синонимическое.

Базовый стандарт ДСТУ Б В.2.7-46:2010, характеризует раннюю и стандартную прочность цемента, но оперирует только понятием *марки* цемента, исключив М550 и М600, приводит требования прочности для марок (табл.3).

Таблиця 2

Наименование показателя		Граничные значения для единичных результатов						
		Марки цемента (ДСТУ Б В.2.7-112-2002)						
		300	400	400Р	500	500Р	550	600
Ранняя прочность, МПа, нижнее граничное значение	2 сут	-	-	13,0	13,0	23,0	18,0	23,0
	7 сут	13,0	18,0	-	-	-	-	-
Стандартная прочность, МПа, нижнее граничное значение	28 сут	28,5	38,5	38,5	47,5	47,5	52,5	57,5

Таблиця 3

Марка цемента	Прочность при сжатии, МПа, не менее (ДСТУ Б В.2.7-46:2010)		
	2 сут	7 сут	28 сут
300	-	15,0	30,0
400	-	20,0	40,0
400Р	15,0	-	40,0
500	15,0	-	50,0
500Р	20,0	-	50,0

Обращение к **ДСТУ Б EN 197-1:2008** позволяет выделить существенное отличие этой нормы от приведенных значений. Следует заметить, что эта норма распространяется преимущественно на экспортируемый цемент и использует понятие *класс* прочности с таким национальным примечанием, которое по существу воспроизводится и в ДСТУ Б В.2.7-112-2002:

*класс прочности – это стандартная прочность при сжатии образцов цемента в возрасте 28 суток, которую определяют согласно ДСТУ EN 196-1 и которая должна быть гарантирована вероятностью не менее, чем 95%.*

По стандартной прочности цементы подразделяются на классы 32,5; 42,5; 52,5 при соответствующих значениях прочности при сжатии в разные сроки (табл. 4). При этом рецептура цементов более широкая и охватывает 27 представительских групп. Для соответствующих классов регламентированы показатели граничных значений единичных результатов (табл. 5).

Таблиця 4

Класс прочности	Прочность при сжатии, МПа (ДСТУ Б EN 197-1:2008)			
	Ранняя прочность		Стандартная прочность	
	2 суток	7 суток	28 суток	
32,5 N	-	16,0	≥ 32,5	≤ 52,5
32,5 R	≥ 10,0	-		
42,5 N	≥ 10,0	-	≥ 42,5	≤ 62,5
42,5 R	≥ 20,0	-		
52,5 N	≥ 20,0	-	≥ 52,5	≤ 62,5
52,5 R	≥ 30,0	-		

Таким образом, несмотря на то, что ДСТУ Б EN 197-1 и ДСТУ Б В.2.7-46 декларируют 5 типов идентичных цементов, они отличаются по рецептуре и характеристике основного показателя – прочности. Диапазон граничных значений в пределах одного класса согласно ДСТУ Б EN 197-1 составляет 20 МПа, что вызывает неоднозначность в оценке эффективности такого критерия для отечественных потребителей цемента, прежде всего, для бетона. В таком случае для гармонизации норм, очевидно, в документе о качестве цемента целесообразно указывать фактические результаты определения стандартной прочности по образцам.

Таблица 5

Свойство		Граничные значения для единичных результатов					
		Класс прочности (ДСТУ Б EN 197-1:2008)					
		32,5 N	32,5 R	42,5 N	42,5 R	52,5 N	52,5 R
Ранняя прочность, МПа, нижнее гр. значение	2 сут	-	8,0	8,0	18,0	18,0	28,0
	7 сут	14,0	-	-	-	-	-
Стандартная прочность, МПа, нижнее гр. знач.	28 сут	30,0	30,0	40,0	40,0	50,0	50,0

#### 4. Проверка качества цемента потребителем - производителем бетона

Согласно стандартам на бетоны ДСТУ Б В.2.7-43 и ДСТУ Б В.2.7-176 входной контроль цемента производится путем установления соответствия регламентированных требований документально представленным производителем данных о качестве цемента, т.е. паспорта на поставку. Фактически потребитель цемента полностью *доверяет производителю*. Вместе с тем производители бетона не только осуществляют контроль, но и фактически проводят исследования как цемента с использованием соответствующих стандартов, так и бетона на его основе. В результате таких испытаний и формируется статистическая характеристика продукции, а также создается имидж завода-производителя цемента.

#### 5. Прочность бетона в нормативных документах Украины

Прочность бетона зависит от ряда факторов, основные из которых показаны на рис.1. Как отмечалось ранее, наиболее общим и важным свойством является прочность при сжатии, поэтому ее оценке и уделяется основное внимание в нормативных документах.

В стандартах используются две характеристики прочности бетона: класс и марка. Марка характеризовала прочность бетона по стандартам типа ГОСТ и относилась к бетонам «старшего» поколения. С появлением модифицированных бетонов нового поколения возникла необходимость давать более достоверную оценку прочности с учетом неоднородности бетона как конструкционного материала, которая отразилась в понятии класс бетона по прочности. К сожалению, нормативные документы не раскрывают этих понятий, а дают только их взаимную связь. В определении Баженова Ю.М. *классом бетона* по прочности на осевое сжатие называется временное сопротивление сжатию бетонных кубов с размером ребра 15 см, испытанных в проектном возрасте с учетом статистической изменчивости прочности.

В базовом стандарте на бетон ДСТУ Б В.2.7-176:2008 (EN 206-1:2000, NEQ), связь которого с остальными действующими стандартами Украины показана на рис. 2, класс бетона по прочности определяется на образцах цилиндрической формы (диаметр 150 мм, высота 300 мм) или кубах с ребром 150 мм при обеспеченности 95% в возрасте 28 суток в соответствии с EN 12390-1, изготовленных и выдержанных в нормальных условиях в соответствии с EN 12390-2

из проб, отобранных в соответствии с EN 12350-1. В этом же стандарте отмечено, что при определении прочности могут быть использованы образцы других размеров и другие режимы выдерживания при условии подбора стандартным образцам с достаточной точностью, что требует документального подтверждения.



Рисунок 1 - Блок-схема факторов, определяющих прочность бетона

Маркировку класса по прочности бетона на сжатие по этому стандарту представляет буква „С” с дробью, в числителе которой дается прочность образцов-цилиндров, в знаменателе – прочность образцов-кубов (МПа). Следует заметить, что эта маркировка класса по прочности была принята и при разработке стандарта на щелочные тяжелые бетоны ДСТУ Б В.2.7-25:2011.

Следует заметить, что ДСТУ Б В.2.7-176:2008 (EN 206-1:2000, NEQ) рекомендует проводить испытания с приоритетным использованием указанных Норм (EN), которые не адаптированы в Украине. В то же время в этом нормативе дается ссылка на возможность использования отечественных нормативов соответственно для отбора проб бетонной смеси (ДСТУ Б В.2.7-114-2002), характеристики таких образцов (ДСТУ Б В.2.7-214:2009), для регламентирования условий выдерживания образцов (ДСТУ Б В.2.7-224:2009). Достаточно важной ремаркой является указание на необходимость уведомления потребителя о форме образцов, предназначенных для испытаний. Иные методы испытаний образцов обязательно подлежат согласованию между производителем и потребителем.

Стандартом ДСТУ Б В.2.7-43-96 регламентируется связь между классом и средней прочностью бетона такой зависимостью:

$$B = R (1 - t V),$$

где  $B$  – класс бетона по прочности, МПа;  $R$  – средняя прочность бетона, которую следует обеспечить при производстве конструкций, МПа;  $t$  – коэффициент, характеризующий принятую при проектировании обеспеченность класса бетона (в соответствии с ДСТУ Б В.2.7-43-96 обеспеченность составляет 95% для всех видов бетонов);  $V$  – коэффициент вариации прочности бетона (фактическое значение рассчитано по методике ДСТУ Б В.2.7-224:2009 или принятый равным 13,5% при отсутствии фактических значений, например, при подборе номинального состава бетона).

Согласно ДСТУ Б В.2.7-43-96 класс бетона по прочности при сжатии обозначается буквой „В” и регламентируется пределами от В3,5 до В80.

Приближение к европейским нормам в целом сопровождается повышением требований к прочности тяжелых бетонов, поскольку в ДСТУ Б В.2.7-176:2008 указывается предел С 100/115. Следует заметить, что в стандарте на щелочные бетоны ДСТУ Б В.2.7-25:2011 предусмотрен класс С110/125, что обосновано более, чем 50-летней практикой наблюдения за такими бетонами в разнообразных конструкциях, в том числе специального назначения. Современный этап развития этих бетонов обусловлен решением задач их модифицирования в направлении водоредуцирования и пластификации, что позволяет прогнозировать расширение как области применения, так и повышения прочности.



**Рисунок 2** - Взаимосвязь ДСТУ Б В.2.7-176:2008 (EN 206-1:2000, NEQ) с другими нормативными документами

Таким образом, в вопросе определения прочности, равно как и в других вопросах, в отличие от ранее принимавшихся отечественных норм стандарт ДСТУ Б В.2.7-176:2008 предполагает *взаимную заинтересованную связь между производителем и потребителем бетона*, которая ориентирована на получение максимально достоверной информации о результатах определения прочности.

Определенные затруднения у отечественного производителя может вызывать неоднозначность использования упомянутых нормативных документов: все указанные EN, на которые опирается базовый стандарт, не входят в перечень действующих в Украине, поскольку сам базовый стандарт ДСТУ Б В.2.7-176:2008 является документом *параллельного действия* с комплексом национальных стандартов, касающихся бетонных смесей и бетонов, бетонных и железобетонных изделий и конструкций, методов испытаний, связанных с положениями и требованиями этого стандарта на период разработки и принятия новой редакции упомянутых стандартов как идентичных европейским. Таким образом, у предприятий отрасли есть время для формирования лабораторно-испытательной базы. Именно эта позиция отражена в национальном введении к стандарту ДСТУ Б В.2.7-176:2008. В переходный период определение прочности бетона по контрольным образцам необходимо производить в соответствии с ДСТУ Б В.2.7-214:2009 до появления в нормативной базе Украины адаптированных европейских норм как подчиненных базовому стандарту ДСТУ Б В.2.7-176:2008.

Действующий отечественный стандарт ДСТУ Б В.2.7-214:2009 регламентирует возможность определения прочности по образцам конкретных размеров, отличающихся от размеров, приведенных в ДСТУ Б В.2.7-176:2008, с указанием масштабных коэффициентов. Такими образцами могут быть кубы со стороной 70 – 300 мм, а также призмы и цилиндры разного диаметра (100–300 мм) и высоты (200–600 мм). Это позволяет производителю работать более гибко.

### 6. *Условия испытаний при определении прочности бетона*

Регламентирование условий испытаний бетона является чрезвычайно важным для объективной оценки прочности. Эти условия начинаются с грамотного *отбора проб* бетонной смеси, что необходимо делать в соответствии с требованиями ДСТУ Б В.2.7-114-2002. При этом испытания смеси должны производиться не позже, чем через 10 минут после отбора пробы, а формование образцов – не позже 20 минут. Температура бетона отобранной пробы может изменяться в пределах только 5 град за все время проведения измерений и изготовления образцов. Это необходимо учитывать особенно в зимний период для исключения резкого охлаждения смеси, а в летний период учитывать требование в части сохранения водосодержания смеси.

*Подготовка форм* для изготовления образцов предполагает проверку правильности сборки, исключение отклонений в геометрических размерах. Любые отклонения ведут к несоответствию результата определения прочности, особенно чувствительны к этому высокопрочные бетоны. В этом случае следует тщательно измерять все размеры перед формованием образцов.

ДСТУ Б В.2.7- 214-2002 уделяет достаточно много внимания условиям *формования образцов*. Несмотря на кажущуюся простоту самой операции, она предусматривает ее отдельные элементы как очень конкретно регламентированные. Нарушение этих требований чаще всего состоит в использовании виброуплотнения для кажущегося улучшения условий приготовления образца. Однако при вибрировании модифицированных химическими добавками смесей нарушается поровая структура материала. При этом может быть улучшенной прочность, но не обеспечены условия для морозостойкости, особенно в случае присутствия специально введенной воздухововлекающей добавки.

В каком соответствии находятся описанные требования с нормами EN? Национальный стандарт ДСТУ Б В.2.7-176:2008 (EN 206-1:2000, NEQ) ссылается на два европейских неадаптированных. Подготовка проб и испытания бетонных смесей регламентирует EN 12350–1...7. Требования к геометрическим размерам образцам бетона, к процедурам их изготовления, хранения и к порядку испытания на прочность указаны в EN 12390–1...7. Можно предполагать, что принципиальных различий между европейскими нормами и прокомментированными отечественными не выявлено, что и позволяет их рекомендовать для применения.

Твердение контрольных образцов, как свидетельствует ДСТУ Б В.2.7-224:2009, может происходить в разных условиях, что связано с характером бетонной конструкции (сборная или монолитная) и типом прочности (проектная, отпускная, передаточная). Для определения проектной прочности образцы должны твердеть в нормальных условиях согласно ДСТУ Б В.2.7-214: 2009 при температуре  $20\pm 3^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности не менее  $95\pm 5\%$ . Отпускная и передаточная прочность определяется на образцах, которые твердеют в условиях твердения конструкции. Прочность контрольных образцов бетона монолитных конструкций определяется при их хранении как в нормальных условиях лаборатории производителя, так и на строительной площадке в условиях, одинаковых с условиями конструкции. Последнее требование вызывает различные толкования:

- обеспечение одинаковых условий твердения монолитной конструкции по всему ее объему и образцов мало реально;
- результаты определения прочности в заводской лаборатории и на объекте оказываются несопоставимыми и не ясно, каков статус той прочности, которая определена на приобъектных образцах.

Сроки твердения бетона устанавливают так, чтобы требуемая прочность бетона была достигнута к моменту загрузки конструкции проектной нагрузкой. Для монолитных конструкций на обычном портландцементе этот срок, как правило, принимается равным 28 дням. Для элементов сборных конструкций заводского изготовления отпускная прочность бетона может быть ниже его класса; она устанавливается по стандартам и техническим условиям в зависимости от условий транспортирования, монтажа, сроков загрузки конструкции и др. Требованиями ДСТУ Б В.2.7-43-96 оговорено, что если проектный возраст не обозначен, то технические требования к бетону должны быть обеспеченными в возрасте 28 суток.

Приведенные отечественные нормативные требования по обеспечению условий твердения образцов для определения прочности бетона допускают некоторые неточности, особенно в части приобъектных условий твердения. Можно полагать, что норма приобъектных испытаний является недостаточно четкой и требует для получения потребителем объективной характеристики прочности бетона проводить дополнительные испытания в *независимой лаборатории*.

Испытание образцов для определения прочности выполняется в соответствии с ДСТУ Б В.2.7- 214:2000. Следует обратить внимание на некоторые важные детали процедуры: 1) правильная установка образца на плиту пресса (грань, центровка); 2) скорость нагружения. Последнее определяется непрерывным приложением нагрузки со скоростью, обеспечивающей повышение расчетного напряжения в образце до его полного разрушения в пределах  $0,6 \pm 0,4$  МПа/с при испытании на сжатие.

Железобетонные конструкции по форме отличаются от образцов-кубов и цилиндров, поэтому кубиковая (равно как и цилиндрическая) прочность бетона не может быть непосредственно использована в расчетах прочности элементов конструкции. Основной характеристикой прочности бетона сжатых элементов является призмная прочность  $R_b$  — временное сопротивление осевому сжатию бетонных призм. Опыты на бетонных призмах с размером стороны основания  $a$  и высотой  $h$  показали, что призмная прочность бетона меньше кубиковой и что она уменьшается с увеличением отношения  $h/a$ .

Практика определения прочности бетона показывает, что испытания образцов не могут дать полной объективной характеристики этого свойства для оценки конструкции. Именно поэтому нормативы предусматривают определение прочности путем испытания на сжатие кернов, взятых из конструкции, а также при использовании ультразвуковых и механических методов испытаний согласно ДСТУ Б В.2.7-220:2009 и ДСТУ Б В.2.7-226:2009. В этом случае показатель прочности рассматривается как результат комплексных испытаний, который позволяет наиболее объективно оценить состояние конструкции в части ее прочности.



## 7. Достоверность результатов испытаний

В оценке прочности бетона обязательной характеристикой является ее однородность. Сравнение фактической прочности и нормированной недопустимо без учета этой характеристики. Ее составляющими согласно ДСТУ Б В.2.7-224:2009 являются среднее квадратическое отклонение ( $S_m$ ) и коэффициент вариации ( $V_c$ ). Следует отметить, что стандарт ДСТУ Б В.2.7-214, которым регламентированы методы определения прочности бетона по контрольным образцам, акцентирует внимание на необходимость соблюдения требований ДСТУ Б В.2.7-224 при производственном контроле прочности бетона.

Физический смысл значения  $S_m$  состоит в том, чтобы размах между единичными значениями прочности бетонных образцов в контролируемой партии ( $W_m$ ) был минимальным, а число образцов в серии ( $a$ ) максимальным, тогда среднее квадратичное отклонение будет стремиться к минимуму согласно зависимости:

$$S_m = W_m / a$$

Смысл определения коэффициента вариации состоит в том, что он указывает на особенности работы производителя бетона: принятым стандартом при отсутствии фактических значений однородности является значение коэффициента  $V_c=13,5\%$ ; минимально допустимым фактическим коэффициентом является  $8,0\%$ . Если для производителя бетона он оказывается выше, требуется внеочередная переаттестация испытательного оборудования лаборатории. Снижение значений этого показателя позволяет предприятию минимизировать требуемый уровень прочности в пределах класса. Например, при  $V_c=13,5\%$  и необходимости поставки бетона класса по прочности В40 его фактическая средняя прочность должна составлять 51,4 МПа, в то же время при  $V_c=8,0\%$  она может быть 46,0 МПа, а при  $V_c=6,0\%$  соответственно 44,4 МПа (табл.6). Интересно отметить, что **в стандарте России на правила контроля и оценки прочности тяжелых бетонов (ГОСТ 18105) прописано в качестве одного из условий представление потребителю бетона данных о фактической прочности бетона по образцам без учета коэффициента вариации.**

Согласно ДСТУ Б В.2.7-176:2009 однородность прочности характеризуется критериями соответствия прочности при сжатии заданным требованиям как 1, 2, 3. Они предполагают призводить оценку соответствия на образцах после 28 суток твердения:

- из  $m$  образцов по средним значениям результатов испытаний - **критерий 1**;
- каждого отдельного результата испытаний образцов - **критерий 2**;
- для подтверждения того, что каждый отдельный член семейства бетонов принадлежит этому семейству - **критерий 3**.

Под семейством понимают группу бетонов, которые характеризуются достоверной взаимосвязью между соответствующими свойствами, установленными и подтвержденными документами.

Таблица 6

Фактические значения коэффициента вариации прочности бетона ( $V$ ), %	13,5	13	12	11	10	9	8	6
Средние значения прочности бетона ( $R_c$ ), МПа	51,4	50,8	49,8	48,8	47,8	46,9	46,0	44,4

Однородность показателя прочности по существу проверяют в разные периоды производства работ. На начальном периоде выпуска бетонов одного семейства реализуют

методику испытаний, описанную в ДСТУ Б В.2.7-176:2009. После ее отработки и получения результатов переходят к следующему периоду, который должен обеспечивать лучший результат из регламентируемых.

### **8. Пример комплексной оценки прочности бетона в конструкции**

Современное строительство отличается тем, что наряду с массовыми объектами жилищного и гражданского назначения реализует сложные архитектурные проекты, для которых требуется независимое сопровождение бетонирования с обязательной комплексной оценкой прочности бетона. Именно в таких работах исполнители сталкиваются с затруднениями в части однозначности соблюдения регламентированных норм. Рассмотрим это на примере объекта в виде плиты ростверка общим объемом бетона класса по прочности В30 в пределах 10 тыс. м<sup>3</sup>, который был уложен при непрерывной подаче в течение 38 часов при участии сотрудников подразделений КНУБА.

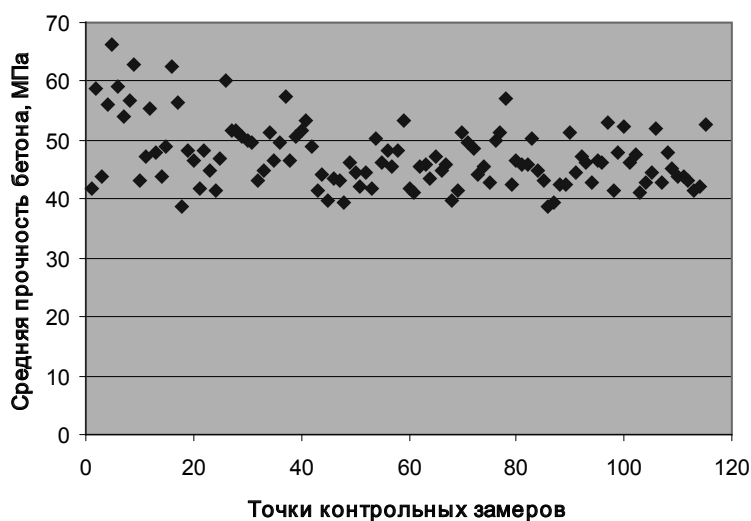
Производителем бетона осуществлена поставка смеси с помощью 10-ти кубовых автобетоновозов, разгрузка которых производилась с помощью 5 бетононасосов. После проверки удобоукладываемости смеси по принятой схеме отбора проб изготавливались образцы в соответствии с требованиями ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Образцы твердели в приобъектных условиях в подготовленном боксе при среднесуточной температуре воздуха в пределах 12-18°C и влажности до 50% в течение 7 суток, после чего были доставлены в лабораторию, где твердели в нормальных условиях до испытаний в возрасте 28 суток.

Анализ результатов контроля прочности бетона при сжатии по образцам показывает, что для обеспечения достоверности контроля прочности бетона необходимо накопление достаточного фактического материала. Так размах в сериях образцов достигал  $W_{sj}=15$  МПа при колебании значений средней прочности в сериях от 37 до 59 МПа. Выполнение контроля по 49 сериям образцов обеспечило получение достоверного значения средней прочности бетона конструкции  $R_s=48,2$  МПа.

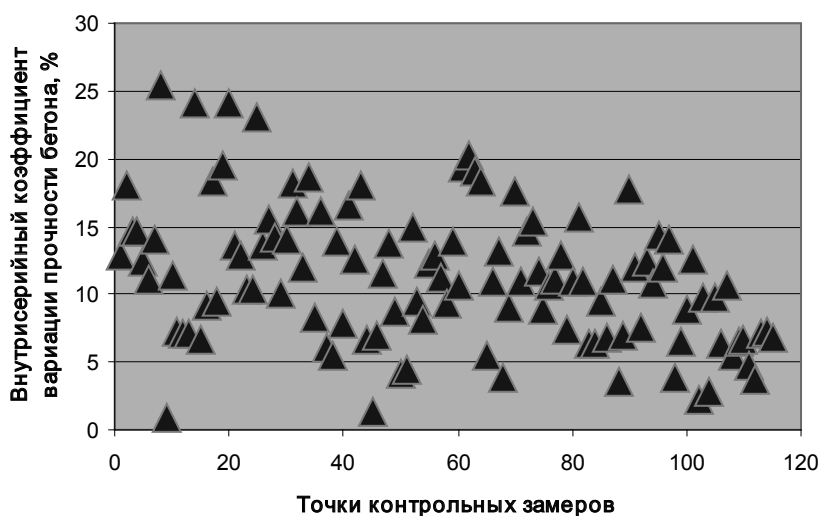
При изменении значений внутрисерийного коэффициента вариации прочности бетона при сжатии в широких пределах его среднее значение по испытанным 49 сериям образцов составило  $v_s=7,8\%$ , т.е. в пределах допустимых значений (предприятием регламентировано  $v_s=8,0$ ). Необходимо отметить, что значение  $v_s$  по данным передовых предприятий-изготовителей бетонной смеси, как правило, меньше, что указывает на большую однородность показателей качества бетона. Это связано с тем, что на предприятии-изготовителе обеспечиваются нормальные условия твердения образцов бетона, в отличие от переменных условий их приобъектного хранения.

**Контроль прочности бетона неразрушающими методами** является исключительно целесообразным, поскольку характеризует поведение материала в конструкции. В данном случае был использован механический метод неразрушающего контроля, который использовался в соответствии с требованиями ДСТУ Б В.2.7-220:2009, а обработка результатов выполнена по тем же показателям разброса значений средней прочности (рис. 3) и коэффициента вариации (рис. 4).

Необходимо отметить, что оценить достоверность результатов контроля прочности бетона неразрушающими методами контроля значительно сложнее, чем по контрольным образцам. Так, среднее значение внутрисерийного коэффициента вариации прочности бетона при сжатии при испытании с помощью прибора „ОНИКС-2.4” составило  $v_s=11,2\%$ . При этом статистический анализ был выполнен по 115 точкам, в каждой из которых было произведено от 3 до 5 единичных замеров. Полученное значение средней прочности бетона конструкции  $R_s=47,3$  МПа близко к полученному по контрольным образцам значению ( $R_s=48,2$  МПа), что подтверждает достоверность результата значений средней прочности и коэффициента вариации.



**Рисунок 3** - Разброс значений средней прочности бетона при сжатии в точках замеров при неразрушающем методе контроля



**Рисунок 4** - Разброс значений внутрисерийного коэффициента вариации прочности бетона при сжатии при неразрушающем методе контроля.

Интересной и важной дополняющей характеристикой прочности бетона в части ее однородности по объему конструкции является ее дефектоскопия, которая выполняется с помощью ультразвуковых приборов. На данном объекте был использован дефектоскоп А1220 «МОНОЛИТ» при одностороннем доступе ультразвуковой волны на глубину до 100 см. Всего было прозвучено 530 точек с охватом более 60 зон конструкции. В результате получены сигналограммы, по характеру которых можно было качественно судить об однородности бетона и выявить зоны локальной неоднородности размером по горизонтали в пределах 10 см, объясняющиеся ослабленным уплотнением смеси при укладке. Установлено, что в наиболее ответственных зонах дальнейшего нагружения конструкции плиты таких отклонений не фиксируется, что позволило ее оценить как пригодную для продолжения строительных работ по проекту.

## **ОБЩИЕ ВЫВОДЫ**

1. Расширение сотрудничества Украины со странами ЕС сопровождается вхождением на отечественный строительный рынок международных компаний, которые согласно законодательству Украины должны работать в соответствии с ее нормативной базой. Вместе с тем эта нормативная база все еще переживает «переходный период». Об этом свидетельствуют те различия, которые имеются в нормативах как на цемент, так и на бетон.

2. Гармонизация нормы EN 197-1 (ДСТУ Б EN 197-1:2008) с линейкой отечественных стандартов Украины на цемент требует введения национального примечания, касающегося граничных значений прочности в пределах класса.

3. Гармонизация нормы EN 206 (ДСТУ Б В.2.7-176:2008) с линейкой отечественных стандартов Украины на бетон требует введения национального примечания, касающегося взаимной заинтересованности производителя и потребителя бетона в получении фактических данных о прочности бетона по образцам, кроме предоставления данных о классе прочности бетона с учетом коэффициента вариации.

4. Практика работы с ведущими отечественными компаниями-производителями и потребителями бетона свидетельствует о целесообразности выполнения комплексной оценки прочности бетона, которая включает лабораторные и приобъектные испытания с проведением статистической оценки достоверности испытаний, а также испытаний бетона в конструкции неразрушающими методами.

5. Подтверждение эффективности щелочных бетонов многолетней отечественной и зарубежной практикой их применения, нашедшая отражение в нормативных документах, позволяет обратить на них особое внимание производителей, а также исследователей для решения ряда вопросов, касающихся определения прочности бетонов нового поколения этой группы.