

АНАЛИЗ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩЕЙ ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТ ПРИ БЕТОНИРОВАНИИ НА ОИАЭ

- ▶ В Российской Федерации нормы по бетону и железобетону при строительстве АЭС существуют на уровнях стандартов (ГОСТ) или сводов правил (СП) и отраслевых норм (нормативных документов ГК "Росатом", Концерна "Росэнергоатом" и СТО СРО Атомной отрасли).
- ▶ В федеральных нормативных документах (ГОСТ и СП) есть определение понятия особо тяжелый бетон в ГОСТ 25192-2012 и раздел по технологии особо тяжелого бетона для радиационной защиты в СП 70.13330.2012.
- ▶ В системе Концерна "Росэнергоатом" имеется около двух десятков нормативных документов, касающихся бетона и железобетона при строительстве АЭС.
- ▶ Большинство из них регламентируют правила контроля качества, мониторинга и оценки состояния конструкций и прогноза долговечности (остаточного ресурса) железобетонных конструкций АЭС.
- ▶ Нормативные документы (РД ЭО 1.1.2.05.0697-2006 и РД ЭО 1.1.2.05.0696-2006) регламентируют правила сооружения и сдачи в эксплуатацию сложных и ответственных железобетонных конструкций АЭС – фундаментов турбоагрегатов и башен вытяжных градирен.

СТО 1.1.1.03.003.0911-2012 «БЕТОНЫ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ»

СТО 1.1.1.03.002.0912-2012 «НОРМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГЕРМЕТИЧНОГО ОГРАЖДЕНИЯ ЗОНЫ ЛОКАЛИЗАЦИИ АВАРИИ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ С ДВОЙНОЙ ЗАЩИТНОЙ ОБОЛОЧКОЙ»

ПНАЭ Г-10-031-92 «РУКОВОДСТВА ПО БЕЗОПАСНОСТИ. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО СВАРКЕ ЭЛЕМЕНТОВ ЛОКАЛИЗУЮЩИХ СИСТЕМ БЕЗОПАСНОСТИ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ»

МУ 1.2.2.05.0057-2011 «ПРОЕКТИРОВАНИЕ СТАЛЬНЫХ ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИХ ОБЛИЦОВОК ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ АЭС»

**ПОСТАНОВЛЕНИЕ ПРАВИТЕЛЬСТВА РФ
от 26.12.14 № 1521 Об утверждении
перечня национальных стандартов
и сводов правил, в результате
применения которых на
обязательной основе
обеспечивается соблюдение
требований Федерального закона
"Технический регламент о
безопасности зданий и
сооружений"**

**СП63.13330.2012
Бетонные и железобетонные
конструкции. Основные
положения.**

СП52-102-2004

СП28.13330.2017

СП27.13330.2011

СП41.13330.2012

СП35.13330.2012

СП387.1325800.2018

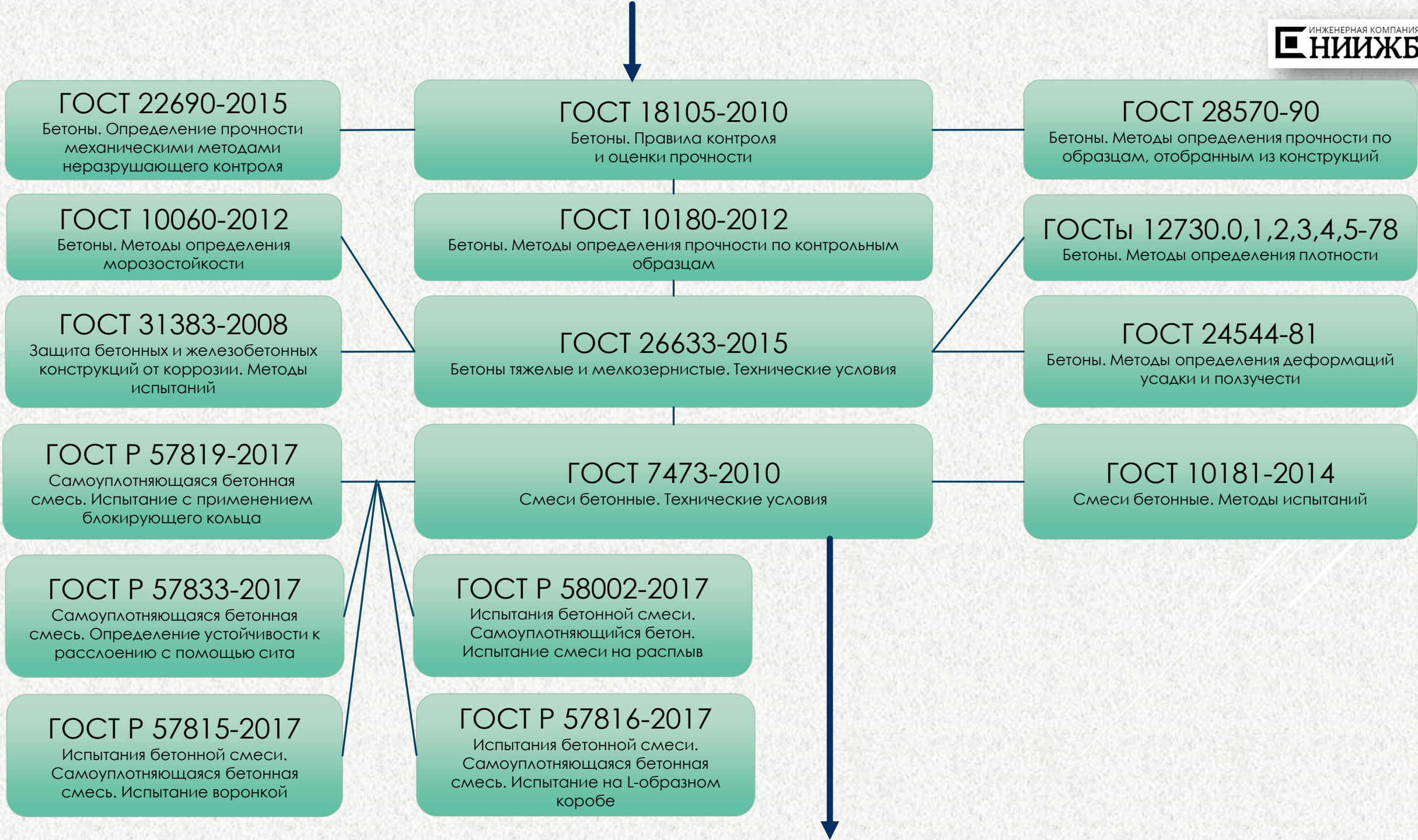
СП52.103.2007

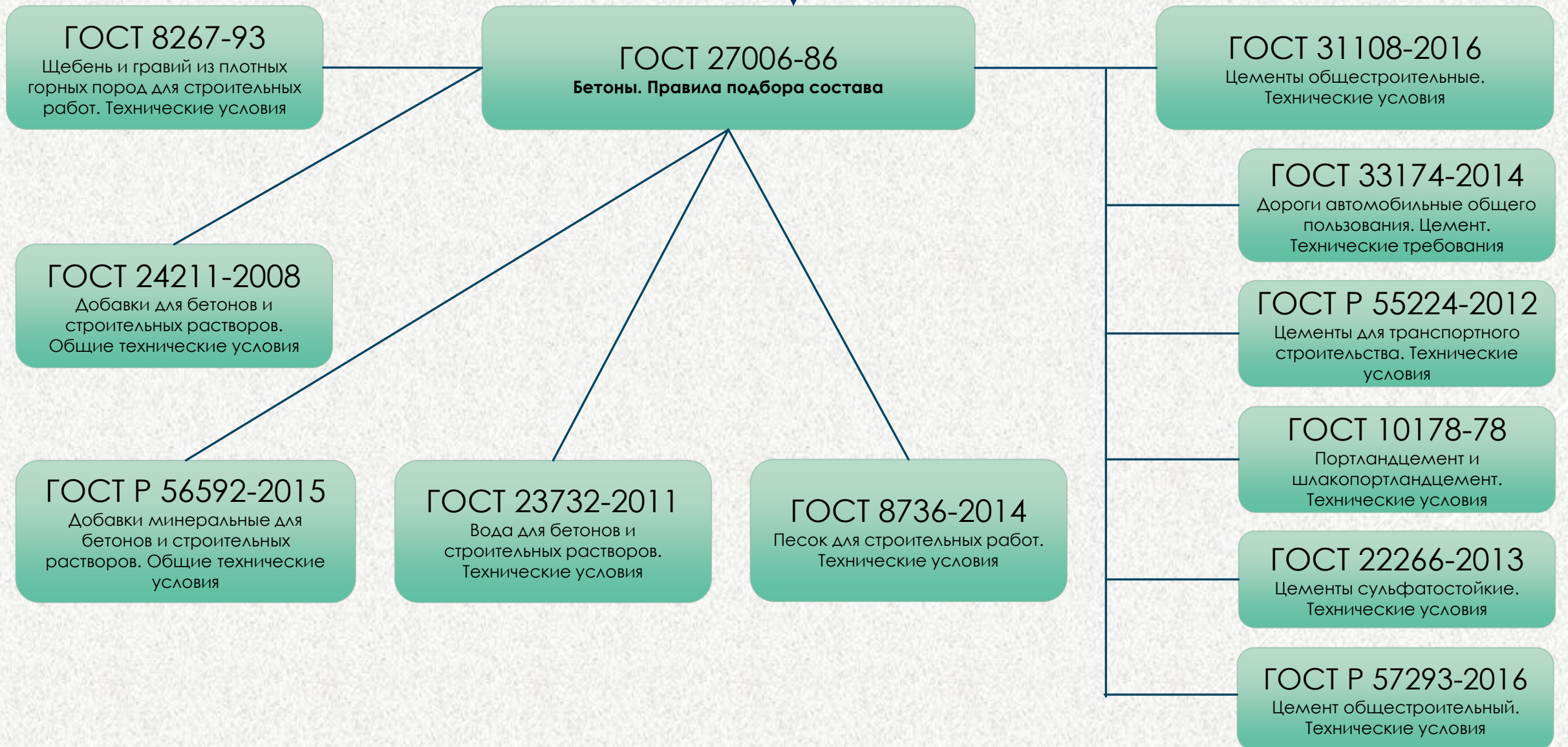
СП70.13330.2012

СП351.325300.2017

СП46.13330.2012







НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ ПО БЕТОНИРОВАНИЮ

РФ	США	Евросоюз	Турция
<p>1. СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»</p> <p>2. СП 70.13330.2012 «Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87»</p> <p>3. СП 357.1325800.2017 «Конструкции бетонные гидротехнических сооружений. Правила производства и приемки работ»</p> <p>4. СП 41.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.06.08-87»</p> <p>5. ВСН 31-83 «Правила производства бетонных работ при возведении гидротехнических сооружений»</p> <p>6. СП 40.13330.2012 «Плотины бетонные и железобетонные. Актуализированная редакция СНиП 2.06.06-85»</p> <p>7. СП 58.13330.2012 «Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003»</p> <p>8. «Рекомендации по проектированию бетонных и железобетонных конструкций для жаркого климата»</p> <p>9. СП 250.1325800.2016 «Здания и сооружения. Защита от подземных вод»</p> <p>10. СТО НОСТРОЙ 2.7.156-2014 «Конструкции бетонные и железобетонные Устройство водонепроницаемых конструкций Правила, контроль выполнения требования к результатам работ»</p>	<p>1. ACI 116R «Cement and Concrete Terminology»/ «Цемент и бетон. Терминология»</p> <p>2. ACI 305 «Guide to Hot Weather Concreting»/ «Бетонирование в жаркую погоду»</p> <p>3. ACI 304 «Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete / «Руководство по выбору, перемешиванию, транспортировке и укладке бетонов»</p> <p>4. ASTM 94 «Standard Specification for Ready-Mixed Concrete» / «Стандартные технические условия для товарного бетона»</p> <p>5. ACI 301 «Specifications for Structural Concrete»/ «Руководство для конструкционного бетона»</p> <p>6. ACI 207 «Guide to Mass Concrete» /«Руководство по массивному бетону»</p> <p>7. Unified facilities guide specifications. section 03 30 00.00 10 cast-in-place concrete. «Монолитный бетон»</p>	<p>1. DIN 1045 Concrete, reinforced and prestressed concrete structures - Part 2: Concrete - Specification, properties, production and conformity - Application rules for DIN EN 206-1/«Конструкции несущие из бетона, железобетона» Бетон. Технические условия, свойства, производство и соответствие. Правила применения к DIN EN 206-1»</p> <p>2. DafStb (Deutscher Ausschuss für Stahlbeton)- Richtlinie Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie); Директива Германского комитета по железобетону «Водонепроницаемые сооружения из бетона»</p> <p>3. DAfStb-Richtlinie Massige Bauteile aus Beton Директива Германского комитета по железобетону «Массивные сооружения из бетона»</p>	<p>1. TS 13515-2014 «Бетон. Общие технические условия. Правила применения Deutscher Ausschuss für Stahlbeton»</p> <p>2. TS 1247 «Бетонное строительство, литье и техническое обслуживание (в нормальных погодных условиях)» / Beton yapım, döküm ve bakım kuralları (normalhava koşullarında)</p> <p>3. TS 500 «Железобетонные конструкций, правила проектирования и строительства»/ Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları</p> <p>4. TS 1248 «Бетонные конструкции, правила и правила в ненормальных климатических условиях» / Beton yapım, döküm ve bakım kuralları-anormal hava şartlarında</p>

ВИДЫ И ТИПЫ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ЦЕМЕНТОВ

Цементы по ГОСТ 31108	Цементы по EN 197	Цементы по EN 14216	Цементы по ASTM C 150, ASTM C 595, ASTM C 1157
ЦЕМ I, ЦЕМ II, ЦЕМ III, ЦЕМ IV, ЦЕМ V	CEM I, CEM II, CEM III, CEM IV, CEM V	CEM III, CEM IV, CEM V	Type I; Type IA; Normal; Type II; Type IIA; Moderate Sulfate Resistance; Type III; Type IIIA; High Early Strength; Type IV; Low Heat Hydration; Type V High Sulfate Resistance.
ЦЕМ 32,5; ЦЕМ 42,5; ЦЕМ 52,5	CEM 32,5; CEM 42,5; CEM 52,5	CEM 22,5	Type IL Portland-Limestone Cement; Type IS Portland-Slag Cement; Type IP Portland-Pozzolan Cement; Type IT Ternary Blended Cement
ЦЕМ 32,5(A,B,C) ЦЕМ 42,5(A,B,C) ЦЕМ 52,5(A,B,C)	CEM 32,5(A,B,C) CEM 42,5(A,B,C) CEM 52,5(A,B,C)	CEM 22,5(A,B,C)	Type GU General Use; Type HE High Early-Strength; Type MS Moderate Sulfate Resistance; Type HS High Sulfate Resistance; Type MH Moderate Heat of Hydration; Type LH Low Heat of Hydration
ЦЕМ 32,5 (М,Н,Б) ЦЕМ 42,5 (М,Н,Б) ЦЕМ 52,5 (М,Н,Б)	CEM 32,5 (N,R) CEM 42,5 (N,R) CEM 52,5 (N,R)	тепловыделение до 220 дж/г CEM 22,5 VLH	
	тепловыделение до 270 дж/г CEM 32,5 LH CEM 42,5 LH CEM 52,5 LH		
Физико-механические свойства (прочность, сроки схватывания, равномерность изменения объема), химические показатели (потеря при прокаливании, нерастворимый осадок, содержание SO ₃ - содержание CL-)	Физико-механические свойства (прочность, сроки схватывания, теплота гидратации, равномерность изменения объема), химические показатели (потеря при прокаливании, нерастворимый осадок, содержание SO ₃ -содержание CL-)	Физико-механические свойства (прочность, сроки схватывания, теплота гидратации, равномерность изменения объема), химические показатели (потеря при прокаливании, нерастворимый осадок, содержание SO ₃ -, содержание CL-)	Физико-механические свойства (прочность, сроки схватывания, теплота гидратации для цементов Type II и Type IV, равномерность изменения объема), химические показатели (потеря при прокаливании, нерастворимый осадок, содержание SO ₃ ,- содержание CL-)

СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕТОННОЙ СМЕСИ В ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТАХ ТОЧНОСТЬ ДОЗИРОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

ГОСТ 7473	EN 206	ASTM 94	TS 13515
<p>Погрешность дозирования исходных материалов весовыми дозаторами не должна превышать $\pm 2\%$ для цемента, воды, химических и минеральных добавок, $\pm 3\%$ - для заполнителей</p>	<p>Погрешность дозирования исходных материалов весовыми дозаторами не должна превышать $\pm 3\%$ для цемента, воды и заполнителей, наполнителей и волокон при массовой доле свыше 5% от массы цемента; $\pm 5\%$ для химических и минеральных добавок, при массовой доле до 5% от массы цемента</p>	<p>Погрешность дозирования исходных материалов весовыми дозаторами не должна превышать для цемента, воды $\pm 1\%$, химических и минеральных добавок, $\pm 3\%$ - для заполнителей $\pm 2\%$</p>	<p>Погрешность дозирования исходных материалов весовыми дозаторами не должна превышать $\pm 3\%$ для цемента и заполнителей, воды – 1%. Общее количество химических добавок, используемых в бетоне, не должно превышать максимально рекомендованного производителем или $5 (6), (7), (8)\%$ по массе цемента, используемого в бетоне.</p>

ВРЕМЯ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ БЕТОННОЙ СМЕСИ

ГОСТ 7473

Продолжительность перемешивания бетонных смесей тяжелых и мелкозернистых бетонов на плотных заполнителях

Вместимость смесителя по загрузке, л	Продолжительность перемешивания, с, не менее					
	В гравитационных смесителях для бетонных смесей марок по удобоукладываемости			В смесителях принудительного действия для всех смесей марок по удобоукладываемости при водоцементном отношении В/Ц		
	Ж1 и П1	П2	П3...П5	Менее 0,3	0,3-0,4	Более 0,4
Менее 750	90	75	60	80	60	50
750-1500	120	105	90	100	70	50
Более 1500	150	135	120	120	80	50

- ▶ 1) Продолжительность перемешивания приведена для смеси марки по удобоукладываемости П1.
- ▶ 2) Для смесей марок по удобоукладываемости Ж1, Ж2, Ж3, Ж4, Ж5 продолжительность перемешивания увеличивают на 15, 30, 45, 60 и 75 с соответственно.
- ▶ 3) Для смесей марок по удобоукладываемости П2, П3, П4, П5 продолжительность перемешивания уменьшают на 15, 30, 45 и 60 с соответственно.
- ▶ 4) Для смесей марок по удобоукладываемости Р1, Р2, Р3, Р4 продолжительность перемешивания увеличивают на 5, 10, 15 и 20 с соответственно.

TS 1247 ASTM 94

Продолжительность перемешивания бетонной смеси составляет 1 мин для 750 дм³ плюс 15 сек для каждого последующих 750 дм³.



ВРЕМЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ И УКЛАДКИ БЕТОННОЙ СМЕСИ

TS 13515	ASTM 94 ACI 304	ГОСТ 7473
<p>Разгрузка бетона с помощью автобетоносмесителей или бетоновозов должна быть завершена в течение 120 минут с начала перемешивания воды с цементом. Бетонная смесь, перевозимая самосвалами, должна быть доставлена в течение 45 минут.</p>	<p>Транспортировка бетонной смеси допускается в течение 90 минут или 300 оборотов автобетоносмесителя. (Бетонная смесь может перевозиться с замедлителем, а затем в нее добавляется ускоритель – такой способ позволяет перевозить бетонную смесь до 320 км.)</p>	<p>Максимальная продолжительность транспортирования бетонной смеси не должна быть более времени сохранения ее свойств, указанных в договоре на поставку.</p>

Бетон должен быть разгружен на площадке строительства в течение не позже 30 минут после прибытия если в договоре на поставку не оговорено иное (ASTM C94M)

Продолжительность транспортировки бетонной смеси не более 90 минут (AS 1379)

СРАВНЕНИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА

ГОСТ 18105-2010

BS EN 206

$$R_T = K_T B_{\text{норм}}$$

$$K_T = \frac{1}{1 - t_{\alpha} \frac{V_c}{100}}$$

$$B_{\Phi} = \frac{R_m}{K_T}$$

R_t – прочность бетона;

K_T - коэффициент требуемой прочности;

$B_{\text{норм}}$ - проектный класс прочности бетона, МПа;

B_{Φ} - фактический класс прочности бетона, МПа;

R_m - фактическая средняя прочность бетона отдельной партии, МПа;

ГОСТ 10180-2012

Прочность бетона в серии образцов определяют:

- из двух образцов - по двум образцам;
- из трех образцов - по двум образцам с наибольшей прочностью;
- из четырех образцов - по трем образцам с наибольшей прочностью;
- из шести образцов - по четырем образцам с наибольшей прочностью.

Продукция	Число n результатов испытаний на прочность при сжатии в группе	Критерий 1	Критерий 2
		Среднее значение N результатов (f_{cm}) N/mm ²	Любой индивидуальный результат теста (f_{ci}) N/mm ²
Первоначальный	3	$\geq f_{ck} + 4$	$\geq f_{ck} - 4$
Непрерывный	Не менее 15	$\geq f_{ck} + 1,48 \sigma$	$\geq f_{ck} - 4$

f_{ck} -класс бетона, характеристическая прочность бетона, равная классу;

σ - стандартное отклонение

TS 500

Среднее значение каждой партии, $f_{cm} \geq f_{ck} + 1,0 Mpa$

Средняя наименьшая группа на каждой партии, $f_{cmin} \geq f_{ck} - 3,0 Mpa$

Для проверки качества необходимо получить по крайней мере одну группу

(3 образца) испытанных образцов из каждого производственного блока.

C 94/C 94M – 04

Испытания на прочность, осадку конуса, температуру, плотность и содержание воздуха обычно проводятся с частотой не менее одного испытания на каждые 115 м³

EN 206

Объем контроля определяется стадией производства (начальной или основной) наличием сертификата на бетон и объемом производства. В среднем 1 проба на 150 м³ (от 25 до 400 м³).

СРАВНЕНИЕ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТИ В ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ НОРМАТИВНО- ТЕХНИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТАХ

ГОСТ 12730.5

Давление воды, при котором на верхней торцевой поверхности образца не появятся признаки фильтрации воды в виде капель или мокрого пятна.

DIN EN 12390-8

Глубина проникания воды при постоянном давлении

ПОКАЗАТЕЛИ ПРОНИЦАЕМОСТИ БЕТОНА

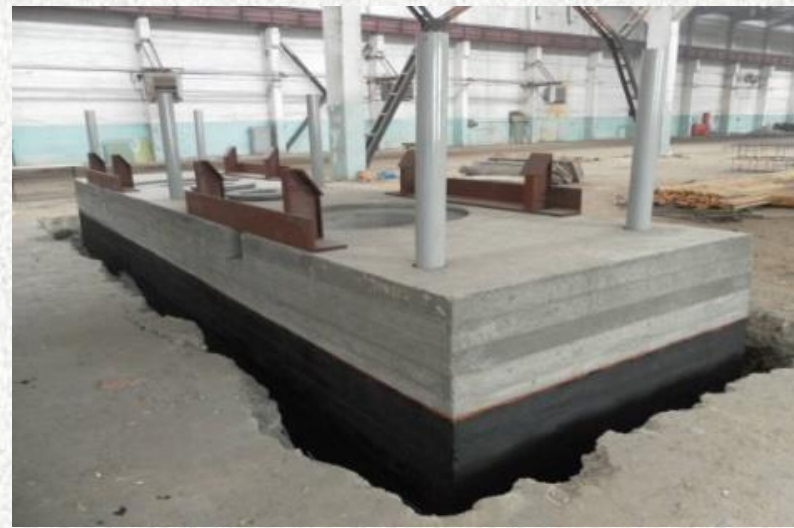
Метод определения водонепроницаемости	Нормальная		Пониженная	Низкая	Особо низкая	
	W2	W4			W10-W14	W16-W20
Марка бетона по водонепроницаемости (W)	W2	W4	W6	W8	W10-W14	W16-W20
Коэффициент фильтрации, см/с	Свыше $7 \cdot 10^{-9}$ до $2 \cdot 10^{-8}$	Свыше $2 \cdot 10^{-9}$ до $7 \cdot 10^{-9}$	Свыше $6 \cdot 10^{-10}$ до $2 \cdot 10^{-9}$	Свыше $1 \cdot 10^{-10}$ до $6 \cdot 10^{-10}$	Свыше $5 \cdot 10^{-11}$ до $1 \cdot 10^{-10}$	Менее $5 \cdot 10^{-11}$
«Глубина проникновения воды под давлением», мм	Более 150	Более 150	100	60	35-20	<20

ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

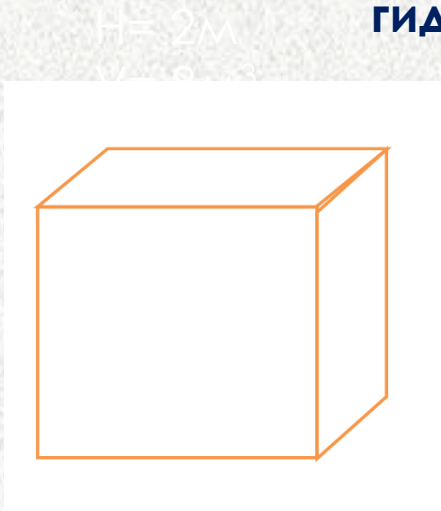
- ▶ **Новый европейский стандарт EN 16633-2014:**
- ▶ **Согласно концепции, состав бетона, отличный от нормируемого, может применяться в проекте при соблюдении определенных условий, главным из которых является обеспечение заданных проектом параметров долговечности.**
- ▶ **Это должно быть подтверждено сопоставлением результатов испытаний «стандартного» и предлагаемого бетона по всем нормируемым показателям качества.**
- ▶ **Для применения новых бетонов может требоваться сертификат пригодности, выданный уполномоченной организацией.**

МАССИВНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

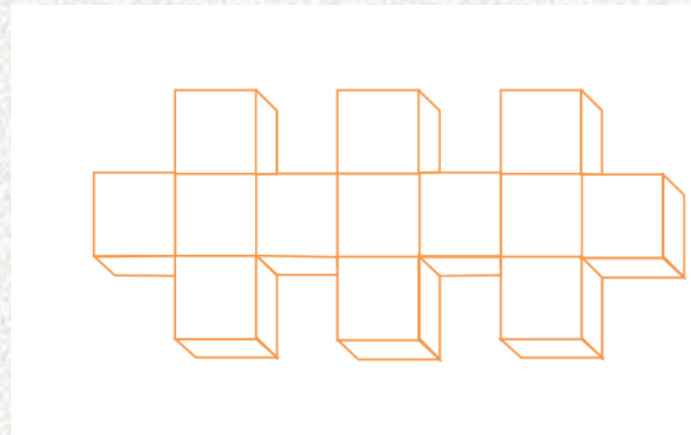
- ▶ 1. СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»:
 - ▶ «Массивная конструкция - конструкция, для которой отношение поверхности, открытой для ее высыхания (m^2), к ее объему (m^3), равно или меньше 2».
- ▶ 2. СП 70.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»:
 - ▶ «Массивная конструкция - конструкция, для которой модуль поверхности равен или меньше 3».
- ▶ 3. ACI 116R; ACI 301: «Массивный бетон - любой объем бетона с размерами, достаточными для того, чтобы потребовать принятия мер, чтобы справиться с выработкой тепла от гидратации цемента и сопутствующего изменения объема, чтобы минимизировать растрескивание».
- ▶ 4. TS 13515 «Массивная конструкция - конструкция, у которой минимальный размер любого сечения не меньше 0,90 м».
- ▶ 5. DIN 1045-2 «Массивная конструкция - детали и строительные элементы, из бетона, минимальный размер которых составляет 0,80 м».



В общем объеме сооружения т.н. «массивные конструкции» могут занимать до 10% объема бетона (фундаменты и опоры зданий и сооружений и фундаменты технологического оборудования), а в гидротехническом строительстве до 95%.



**H=1,37м
V=309м³**



ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕТОННОЙ СМЕСИ ДЛЯ МАССИВНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ



АСИ 301М-99

Осадка конуса должна быть не более 75 мм (если иное не указано)

Для массивных железобетонных конструкций осадка конуса бетонной смеси без добавок должна быть 50-100 мм и 200 мм для бетонной смеси с добавками.

ASTM 94

Не допускается применять быстротвердеющий цемент Type III ASTM C150



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ БЕТОНА МАССИВНОЙ КОНСТРУКЦИИ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЭКЗОТЕРМИИ ЦЕМЕНТА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМОГО КОЛИЧЕСТВА ЦЕМЕНТА В БЕТОНЕ

DIN 1045

Адиабатическое повышение температуры

$$\Delta T_H(t) = \frac{z \Delta Q_H(t)}{c \cdot \rho}$$

где: z = количество цемента в бетоне [кг/м³]

$\Delta Q_H(t)$ =теплота гидратации в момент времени t [кДж/кг]

c = удельная теплоемкость бетона [кДж/(кг · К)]

ρ = плотность бетона [кг/м³]

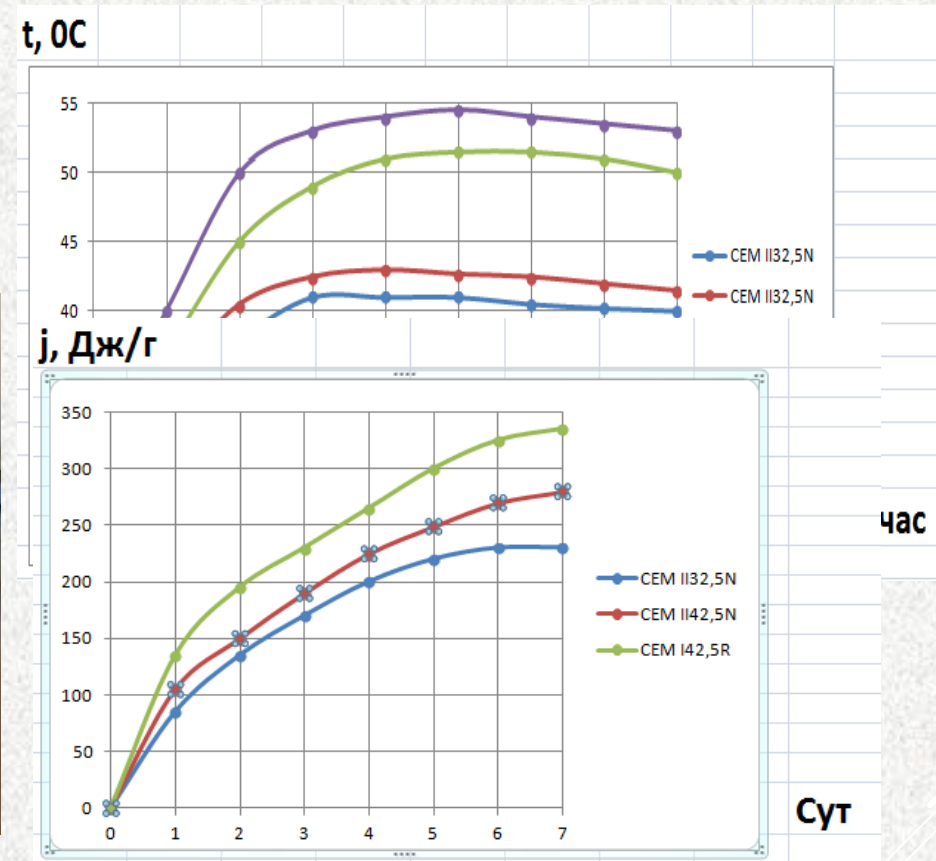
TS 13515

При использовании доменного шлака до 100% массы цемента отношение (вода/цемент) должно быть рассчитано по значению k = 0,8 при использовании цемента типа СЕМ I и значению k = 0,6 при использовании цемента типа СЕМ II/A. Значение (цемент + К×шлак) не должно быть ниже значения, указанного в строке 3 таблицы F. 1.1 и таблица F. 1.2 согласно TS 13515.

Çizelge F.1.1 - Beton karışımı ve özellikleri için önerilen sınır değerler (1)

Sıra	Etki Sınıfı	Korozyon etkisi ve riski yok	Donatı korozyonu									
			Karbonatlaşma nedeniyle korozyon				Klorür iyonları nedeniyle korozyon					
			XC1	XC2	XC3	XC4	Deniz suyu haricindeki klorür			Deniz suyundan gelen klorür		
XD1	XD2	XD3					XS1	XS2	XS3			
1	En büyük su/çimento oranı	---	0,70	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,45			
2	En büyük beton sınıfı ^a	C8/10	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37 ^e	C35/45 ^{e*}	C35/45 ^e			
3	En az çimento içeriği ^c (kg/m ³)	---	250	260	270	280	300	320	320	XD1'e bakılmalıdır	XD2'ye bakılmalıdır	XD3'e bakılmalıdır
4	Mineral esaslı kullanıldığında en az çimento içeriği ^c (kg/m ³)	---	240	240	240	270	270					
5	En az hava içeriği (%)	---	---	---	---	---	---	---	---			
6	Diğer özellikler	---	---									

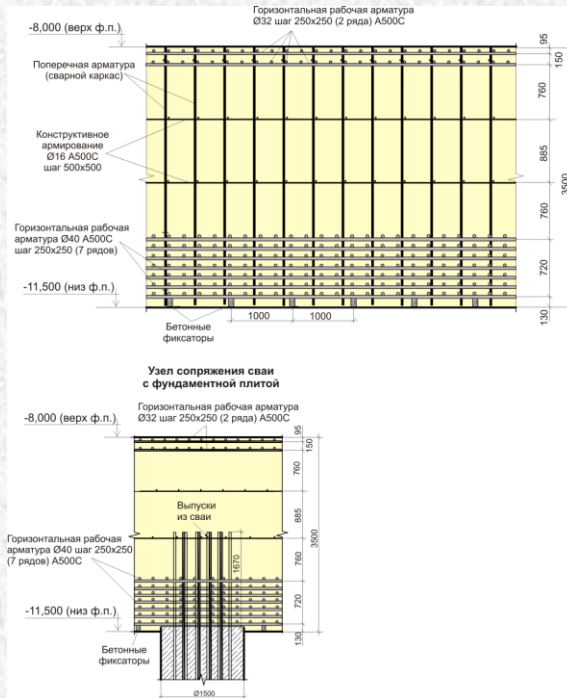
ЗАРУБЕЖНЫЙ И ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ ОПЫТ ПРИ НОРМИРОВАНИИ СТРОИТЕЛЬСТВА И ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАССИВНЫХ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ



Температура бетона в массивных конструкциях при твердении

СП 70.13330-2012	СП 357.1325800.2017	TS 13515	Zement-Merkblatt Betontechnik B 11 3.2016 Massige Bauteile aus Beton Zement-Merkblatt Hochbau Wasserundurchlässige Betonbauwerke H10 3.2012
<p>*Разность температур наружных слоев бетона и воздуха при распалубке с коэффициентом армирования до 1%, до 3% и более 3% должна быть соответственно для конструкций с модулем поверхности: от 2 до 5 не более 20, 30, 40 °С свыше 5 не более 30, 40, 50 °С (*для зимнего бетонирования)</p>	<p>Разность температур между ядром и боковыми поверхностями массива допускается не более 16 °С – 18 °С.</p>	<p>Температура твердеющего бетона, не должна превышать 65°С. Максимальная разность температур между центром конструкции и поверхностью не должна превышать 25°С.</p>	<p>Рекомендуется, чтобы разность температур между центром конструкции и поверхностью не превышала 10°K. Максимальная разность температур между ядром и поверхностью не должна превышать 15-18°K.</p>

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МАССИВНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ



Минимальная толщина защитного слоя бетона** - 30 мм

Допустимые соотношения между высотой и длиной стены (захватки)**:

При толщине стены $25 \text{ см} < d \leq 30 \text{ см}$ $l/h \leq 2,5$ при $l \leq 6 \text{ м}$;

При толщине стены $30 \text{ см} < d \leq 40 \text{ см}$ $l/h \leq 3,0$ при $l \leq 9 \text{ м}$

**Zement-Merkblatt Hochbau
Wasserundurchlässige Betonbauwerke H10

СП 52-103-2007

Руководство по конструированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона (без предварительного напряжения)

В толстых фундаментах плитах помимо продольной арматуры, устанавливаемой у верхней и нижней граней плиты, следует предусматривать продольную арматуру, располагаемую в средней зоне по толщине плиты.

Директива германского комитета по железобетону «Водонепроницаемые сооружения из бетона»

Для снижения ширины раскрытия трещин следует стремиться к уменьшению шага стержней, который в направлении растягивающих усилий рекомендуется назначать не более 100 мм. Арматурные сетки должны располагаться не реже чем через 1/3 поперечного сечения конструкции

СП 250.1325800.2016

Число арматуры в направлении действия растягивающих напряжений следует назначать по расчету. Для снижения ширины раскрытия трещин следует стремиться к уменьшению шага стержней, который в направлении растягивающих усилий рекомендуется назначать не более 100 мм, при условии соблюдения требований СП 63.13330.2012.

БЕТОНИРОВАНИЕ В УСЛОВИЯХ ЖАРКОГО КЛИМАТА

СП 70.13330, «Руководство по производству бетонных работ в условиях сухого жаркого климата»

Жаркая погода - Температура воздуха выше 25° С в 13 ч и относительная влажность воздуха менее 50% .

При производстве бетонных работ при температуре воздуха выше 25 °С и относительной влажности менее 50% рекомендуется применять быстротвердеющие цементы по ГОСТ 10178 и ГОСТ 31108, ГОСТ Р 56727. Для бетонов класса В22,5 и выше допускается применять нормальнотвердеющие цементы

Температура бетонной смеси при бетонировании

конструкций с модулем поверхности более 3 в

момент отправки ее с бетоносмесительного узла не должна превышать 30—35° С, а для массивных конструкций с модулем поверхности менее 3 температура бетонной смеси должна быть возможно- более низкой и не превышать 25° С.

*Продолжительность перевозки и укладки может быть увеличена при введении пластифицирующих и замедляющих добавок

TS 1248: Экстремальная горячая погода - средняя температура воздуха выше + 30°С в течение трех дней подряд

Температура цемента должна быть ограничена и не превышать 75°С.

ACI 305 ASTM 94: Жаркая погода - Температура воздуха более 27°С, испарение воды из бетона превышает 1 кг/м² сут.

Жаркая погода для бетона определяется не только температурой воздуха, но как комбинация следующих условий:

Температура окружающей среды

Температура бетона

Влажность

Скорость ветра

Солнечное излучение

Температура свежеприготовленной бетонной смеси, °С	Максимально допустимая продолжительность перевозки и укладки смеси*, мин
25	30-60
30	15-30
35	10-15

	Пластическая усадка «ранняя усадка» «капиллярная усадка»	Аутогенная усадка	Усадка при высыхании
Время возникновения	От 2 до 8 ч после уплотнения до начала схватывания	От начала схватывания, особенно в течение первых дней и недель	С момента прекращения ухода, от недель до месяцев и лет
Величина усадки	До -4мм/м	0 до -1мм/м	До -5мм/м (в зависимости от влажности)
Причина	Потеря воды из свежего бетона	«самовысыхание» в результате гидратации цемента	Высыхание затвердевшего бетона
Условия способствующие усадке	Ветер, солнце, высокие температуры, низкая влажность воздуха	В/Ц < 0,45	Относительная влажность воздуха < 95%



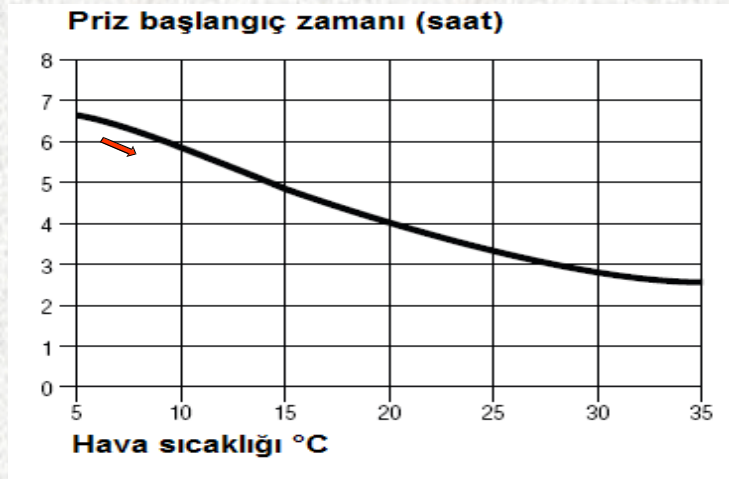
Трещины от пластической усадки

Трещины от пластической усадки - это трещины, которые проявляются и становятся видны, когда бетон находится еще в пластическом состоянии, как видно из названия. Они возникают в результате очень быстрого высыхания бетонной поверхности. Трещины пластической усадки можно увидеть как идущие параллельно друг другу, так же, как и в хаотическом порядке. Они обычно формируются в длину от 25 мм до 2 м и имеют ширину не более 3 мм. Трещины пластической усадки нарушают эстетический вид конструкции. Кроме того, вредные вещества, коррозионные агенты могут со временем просачиваются из трещин в бетон, и оказывать прямого воздействия на прочность и долговечность бетона.

УСАДКА БЕТОНА



Влияние температуры на время схватывания бетонной смеси



- Hot Weather Concreting, CCAA, 2004
- ASCANSA CSTD

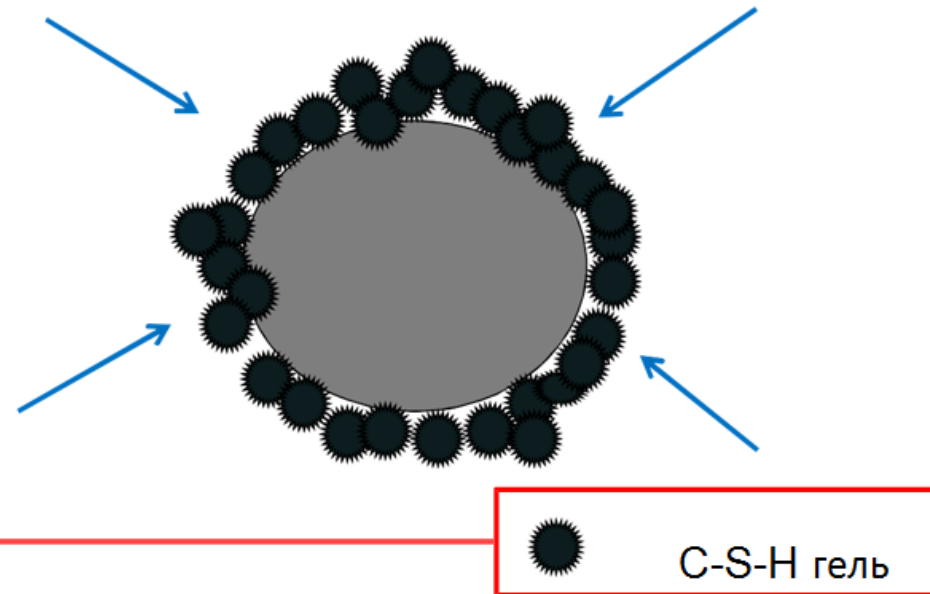
Дефекты бетонной конструкции при ограниченной сохраняемости смеси

Разрушение поверхности бетона из-за расслоения смеси



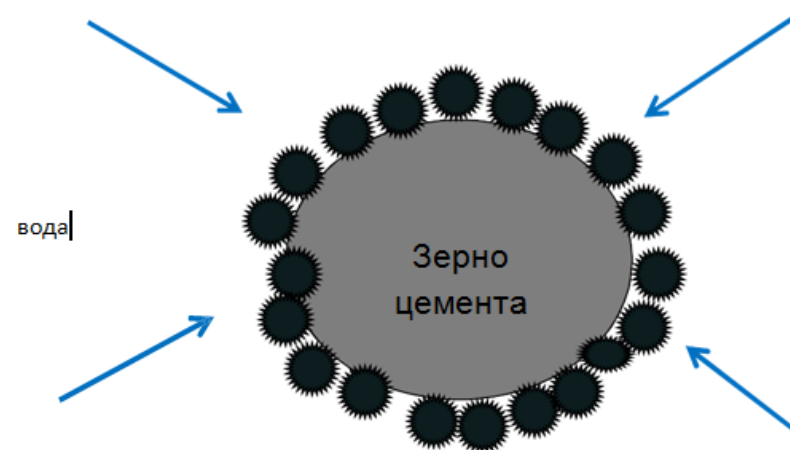
Повышенная температура твердения

Быстрая гидратация
 Высокая ранняя прочность
 Быстрая потеря консистенции (удобоукладываемости)
 Снижение поздней прочности
 «В случае превышения температуры твердеющего бетона выше 70 °С из-за высокой температуры гидратации или ускоренного отверждения цемента следует учитывать возможность замедленного образования этрингита. Особенно в бетоне с более чем 3,5% SO₃ в используемом цементе» (TS 13515) Рекомендуется использовать цементы <3,5% SO₃, ограничить содержание щелочей в цементе и применять минеральные добавки



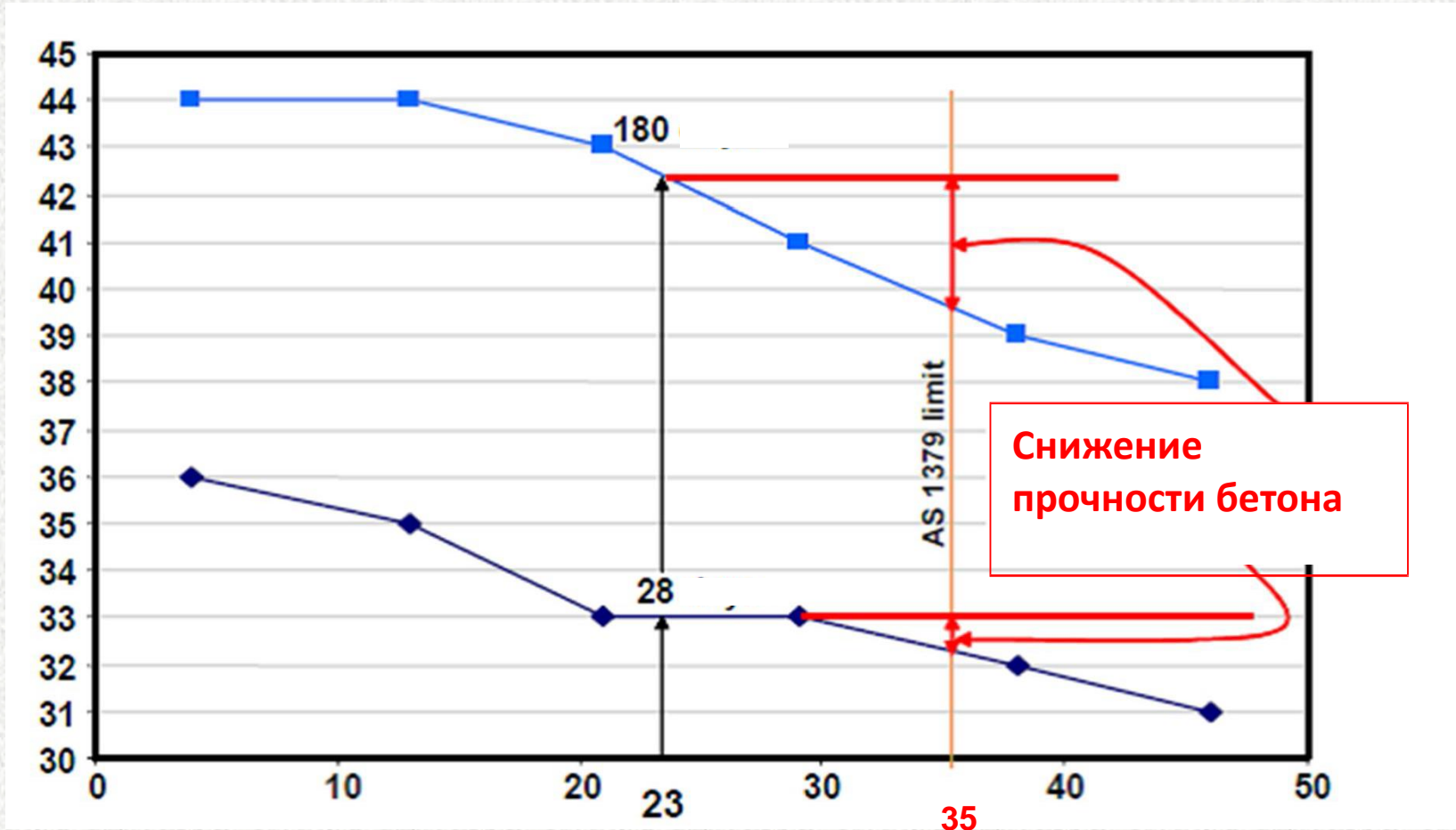
Нормальная температура твердения

Нормальная гидратация
 Продолжительный набор прочности бетона
 Нормальная прочность



**ЭФФЕКТИВНЫМ СПОСОБОМ СНИЖЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ БЕТОННОЙ
СМЕСИ ЯВЛЯЕТСЯ ВВЕДЕНИЕ ЛЬДА В СОСТАВ БЕТОННОЙ СМЕСИ И
ОХЛАЖДЕНИЕ ВОДЫ**





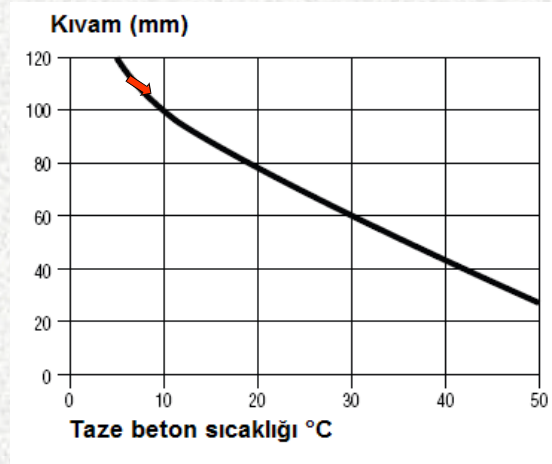
Температура бетона в первые два часа твердения

- Hot Weather Concreting, CCAA, 2004
- ASCANSA CSTD

Влияние температуры на подвижность бетонной смеси

Hot Weather Concreting, CCAA, 2004

ASCANSA CSTD



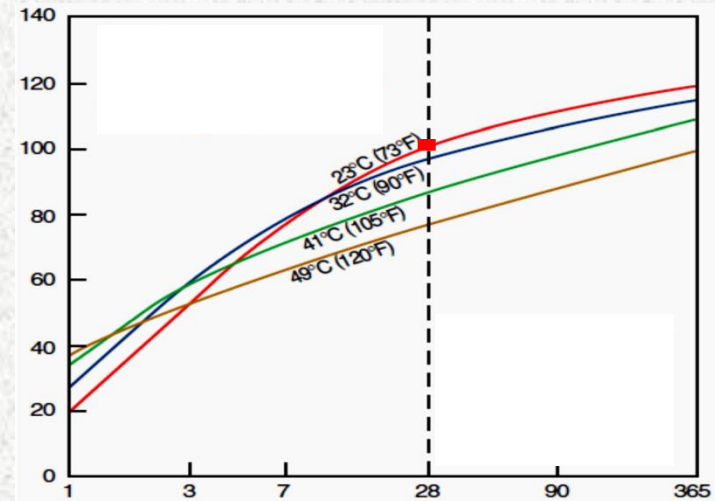
В результате повышения температуры бетонной смеси:

- ▶ Увеличивается водоцементное отношение.
- ▶ Прочность бетона снижается
- ▶ Проницаемость увеличивается.
- ▶ Снижается износостойкость
Коррозионная стойкость уменьшается

СП 70.13330-2012	TS 13515	AS 1379	ASTM 94
Температура бетонной смеси при бетонировании конструкций с модулем поверхности более 3 не должна превышать 30 °С, а для массивных конструкций с модулем поверхности менее 3 не должна превышать 25 °С.	Максимальная температура бетонной смеси не должна превышать 30 °С.	Температура бетонной смеси не должна превышать 35°С.	Температура бетонной смеси при бетонировании конструкций определяется толщиной конструкции. Максимальная температура бетонной смеси не может превышать 32 °С.

- ▶ Увеличение температуры бетона увеличивает раннюю прочность. Это связано с тем, что гидратационная реакция ускоряется с температурой и образуется больше продуктов гидратации. Гидратация C_3S , обеспечивающая раннюю прочность в бетоне, ускоряется при повышенной температуре и интенсивно образуется гель C-S-H.
- ▶ Продукты гидратации раннего возраста образуют очень плотный слой вокруг цементных частиц. Образующиеся продукты распределены не равномерно. Поэтому цементные частицы не полностью гидратируются. Такая микроструктура увеличивает проницаемость

Hot Weather Concreting, CCAA, 2004
ASCANSA CSTD



- ▶ В системе норм **ГК «Росатом»** и концерна **"Росэнергоатом"** из 30 документов, касающихся бетона и железобетона при строительстве АЭС, 2 нормативных документа (РД ЭО 1.1.2.05.0697-2006 и РД ЭО 1.1.2.05.0696-2006) регламентируют правила сооружения и сдачи в эксплуатацию сложных и ответственных железобетонных сооружений АЭС – фундаментов турбоагрегатов и башен вытяжных градирен, в которых установлены общие требования к технологии строительства «массивных» железобетонных конструкций

- ▶ В Европе, как на уровне международных норм (EN), так и на уровне национальных норм отдельных стран (DIN), а так же комитетов (например, DAfStB, Verein Deutsche Zementwerke, VGB) существует отдельная система нормативных документов по бетону и железобетону при строительстве, в которых уделено большое внимание особенностям возведения «массивных» бетонных и железобетонных конструкций, производству работ в условиях жаркого климата, возведению водонепроницаемых конструкций, исключающих трещины: выбору материалов, подбору состава бетона, температурным условиям, конструированию, уходу, ответственность поставщика и подрядчика и т.д.

- ▶ **Стандарт ACI 116R** содержит терминологию в области бетона, где однозначно определены все основные термины, определения и понятия.
- ▶ Общие требования к бетону изложены в стандартах **ACI 301M, ASTM-94m**. Помимо этих стандартов имеются специальные документы, регламентирующие правила производства работ при сооружении «массивных конструкций», а так же в условиях жаркого климата.
- ▶ Стандарт **ACI 207.1R «Mass concrete»** посвящен выбору материалов для бетонов, химическим и минеральным добавкам, даны рекомендации по подбору составов, технологии приготовления смеси, бетонированию и контролю температуры, мероприятиям по предупреждению трещинообразования.

- ▶ Стандарт **ACI 207.2R «Effect of Restraint, Volume Change, and Reinforcement on Cracking of Mass Concrete»** включает предложения по армированию и усилению таких конструкций во избежание трещинообразования, нормативные показатели массивных бетонов, допустимую величину раскрытия трещин.
- ▶ Стандарт **ACI 305R «Hot Weather Concreting»** посвящен особенностям бетонирования в условиях жаркого климата.
- ▶ Кроме того, есть группа документов, которые регламентирует требования к материалам для радиационно-защитных бетонов (**ACI 349.1R-07**).

- ▶ **Проведенный сравнительный анализ показывает, что в настоящее время необходимо провести актуализацию действующих в РФ нормативных документов по бетону и железобетону. Актуализация может проводиться путем пересмотра и гармонизации действующих отечественных нормативных документов и разработки новых нормативных документов на базе современных зарубежных аналогов**
- ▶ **При проектировании зарубежных объектов и назначении проектных требований необходимо учитывать национальные особенности стандартизации, местные условия производства и качество выпускаемых материалов.**
- ▶ **Рабочая документация должна учитывать максимальную локализацию. Необходимо обеспечить применение наиболее близких аналогов к предлагаемым в проектах решениям.**