



«Возведение сложных строительных железобетонных конструкций при сооружении АЭС»

2-ая ежегодная научно-практическая конференция СРО атомной отрасли «АтомСтройСтандарт-2015». Новые технологии сооружения объектов использования атомной энергии.

25.09.2015, г. Москва

Пустовгар А.П. Проректор МГСУ

Основные показатели строительства АЭС различных проектов

Наименование показателя	Российские проекты с ВВЭР				Toshiba-Westinghouse			Toshiba-Hitachi- General Electric		Mitsubishi	AREVA	AECL
	B-320 1000 МВт	НВАЭС-2 1200 МВт	ЛАЭС-2 1200 МВт	АЭС «Белене» 1000 МВт	Sizewell B PWR 1188 МВт	Braidwood PWR 1170 МВт	AP-1000 1117 МВт	Leibstadt BWR 1220 МВт	ABWR Kashiwazaki- Kariwa 6	APWR 1700 МВт	EPR-1600 1600 МВт	Candu-6 728 МВт
Поколение АЭС	II	III	III	III	II	II	III	II	III	III	III	II
Бетон на сооружение пускового комплекса одного энергоблока АЭС, тыс. м ³	330	418,8	514	532	520	253	352	Нет данных	~305	350'	~ 500	251
Вес металла на сооружение пускового комплекса одного энергоблока АЭС, тыс. т	83	103,2	76,1	110,6	65	40	71	65	Нет данных	50,2'	62,5	34,8
Бетон основных зданий «ядерного острова», тыс. м ³	96,5	121,1	133,3	132,8	174,2	200	100	188	Нет данных	Нет данных	200	80
Арматура основных зданий «ядерного острова», тыс. т	39	27,9	24,9	35,8	13	15	12	18	Нет данных	Нет данных	40	22,8
М/к основных зданий «ядерного острова», тыс. т		7,8	2,8	6,8	20	6	25	16	Нет данных	Нет данных	12	11,9
Продолжительность строительно-монтажных работ, мес.	Факт 34	Прогноз 55	Прогноз 60	Прогноз 60	Факт 78	Факт 95*	Проект 36	Факт 96*	Факт 32	Проект 34,5	Прогноз Не менее 60	Факт 47
Пиковая численность строительных рабочих на одном энергоблоке, чел	2500- 3500	2700	3500	3200	Нет данных	Нет данных	1000	Нет данных	1300	Нет данных	~ 2000- 2500	3500
Удельный расход бетона на кВт мощности энергоблока	330	349	428	523	438		300			205	312	345
Технология сооружения основных зданий	Крупно- блочный монтаж	Отдель- ными эlemen- тами	Отдель- ными эlemen- тами	Отдель- ными эlemen- тами	Отдель- ными эlemen- тами	Отдель- ными эlemen- тами	Крупно- блочный монтаж	Отдель- ными эlemen- тами	Крупно- блочный монтаж	Крупно- блочный монтаж	Отдель- ными эlemen- тами	Частичное укрупнение

Примечание. * - отмечены проекты, выполнение которых было приостановлено в связи с авариями на TMI NPP и ЧАЭС

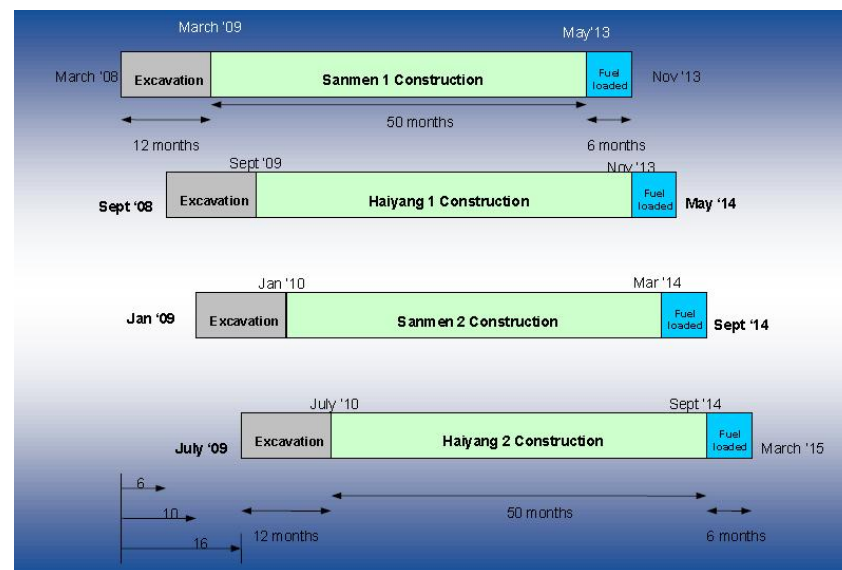
¹ - источник информации Environmental Impact Assessment Report New Nuclear Power Plant in Lithuania August 27th 2008

График специализированных потоков строительства АЭС

АЭС с реактором ВВЭР - 1000

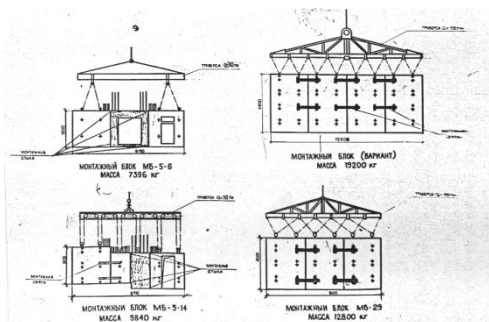
ПОТОК	Годы строительства									
	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
I поток нулевые циклы	работы нулевого цикла пускового комплекса энергоблока №1 то же энергоблока №2 то же энергоблока №3 то же энергоблока №4 то же энергоблока №5 то же энергоблока №6 вводы энергоблоков									
II поток реакторные отделения	поток строительства реакторных отделений энергоблоков 1,3,5 поток строительства реакторных отделений энергоблоков 2,4,6									
III поток машинные залы	поток строительства машинных залов энергоблоков 1,3,5 поток строительства машинных залов энергоблоков 2,4,6									
IV поток объекты вспомогательного назначения	поток строительства объектов вспомогательного назначения пускового комплекса энергоблока №1 то же энергоблока №2 то же энергоблока №3 то же энергоблока №4 то же энергоблока №5 то же энергоблока №6									
V поток гидросооружения	поток строительства гидросооружений пускового комплекса энергоблока №1 то же энергоблока №2 то же энергоблока №3 то же энергоблока №4 то же энергоблока №5 то же энергоблока №6									
капиталовложения млн.руб. 1556,0	18,94	49,66	98,02	150,04	201,98	249,34	236,52	228,86	203,34	119,30
строительно-монтажные работы млн.руб. 608,23	7,40	19,4	38,29	58,61	78,90	97,40	92,80	89,40	79,43	40,60
трудозатраты чел. дн. 1533250	162500	450000	875000	1180000	2500000	2950000	2260000	2180000	1800000	975000

АЭС AP-1000

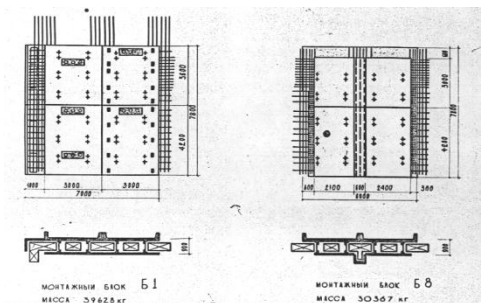


АЭС с реактором ВВЭР - 1000

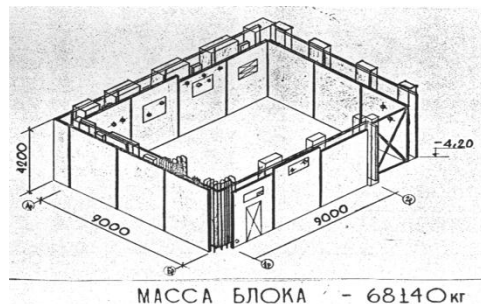
Линейное укрупнение



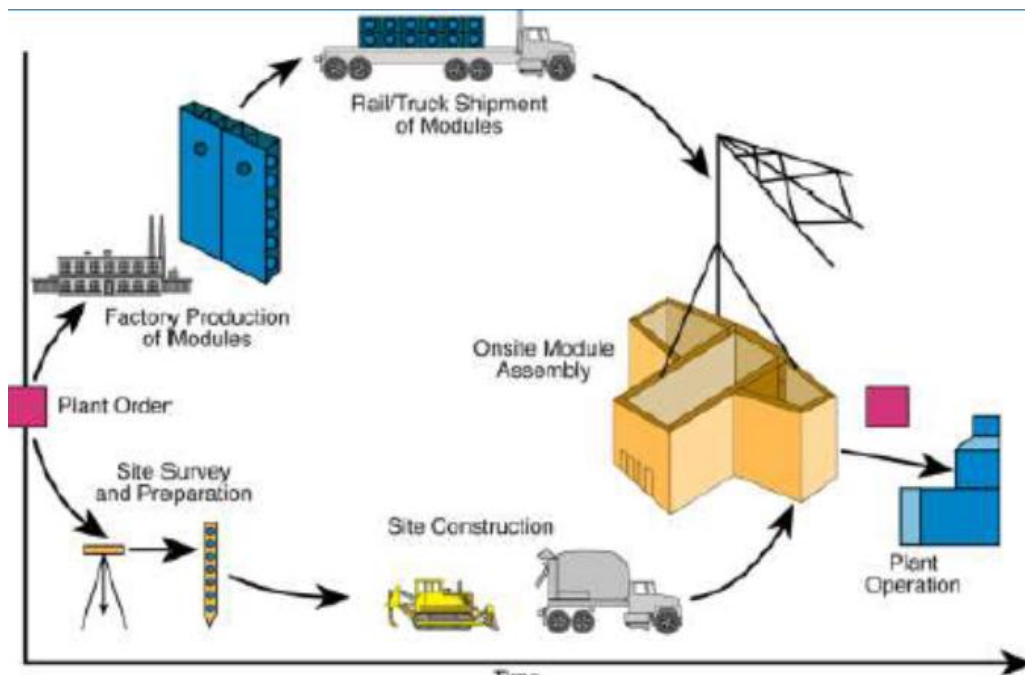
Высотное укрупнение



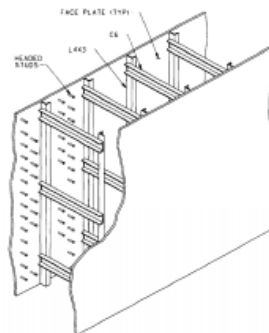
Объемное укрупнение



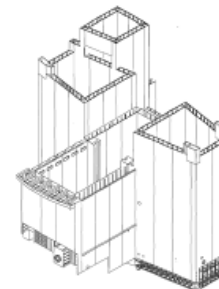
АЭС AP-1000



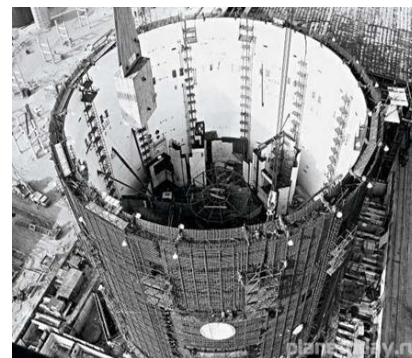
Truss Wall Detail



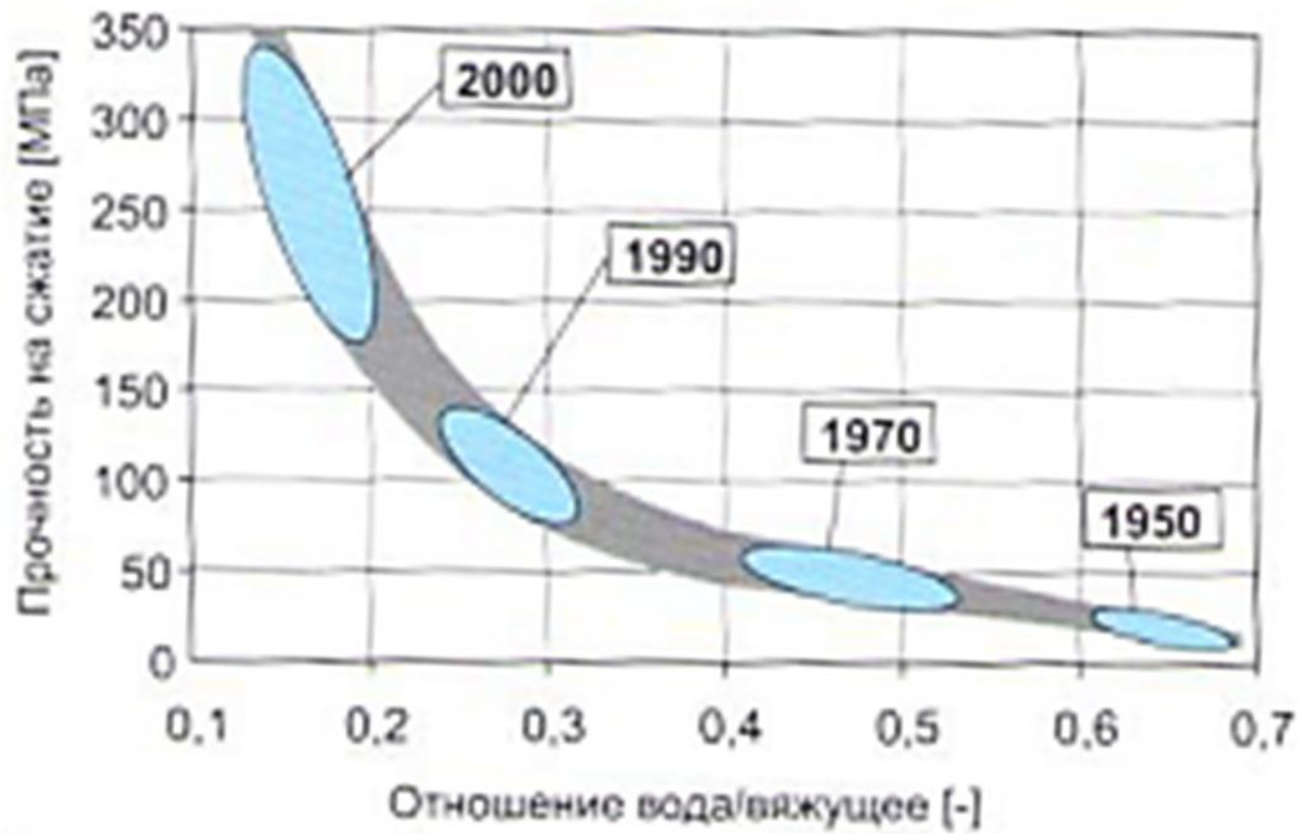
Structural Module



АЭС с реактором ВВЭР - 1000



Эволюция прочности при сжатии бетонов

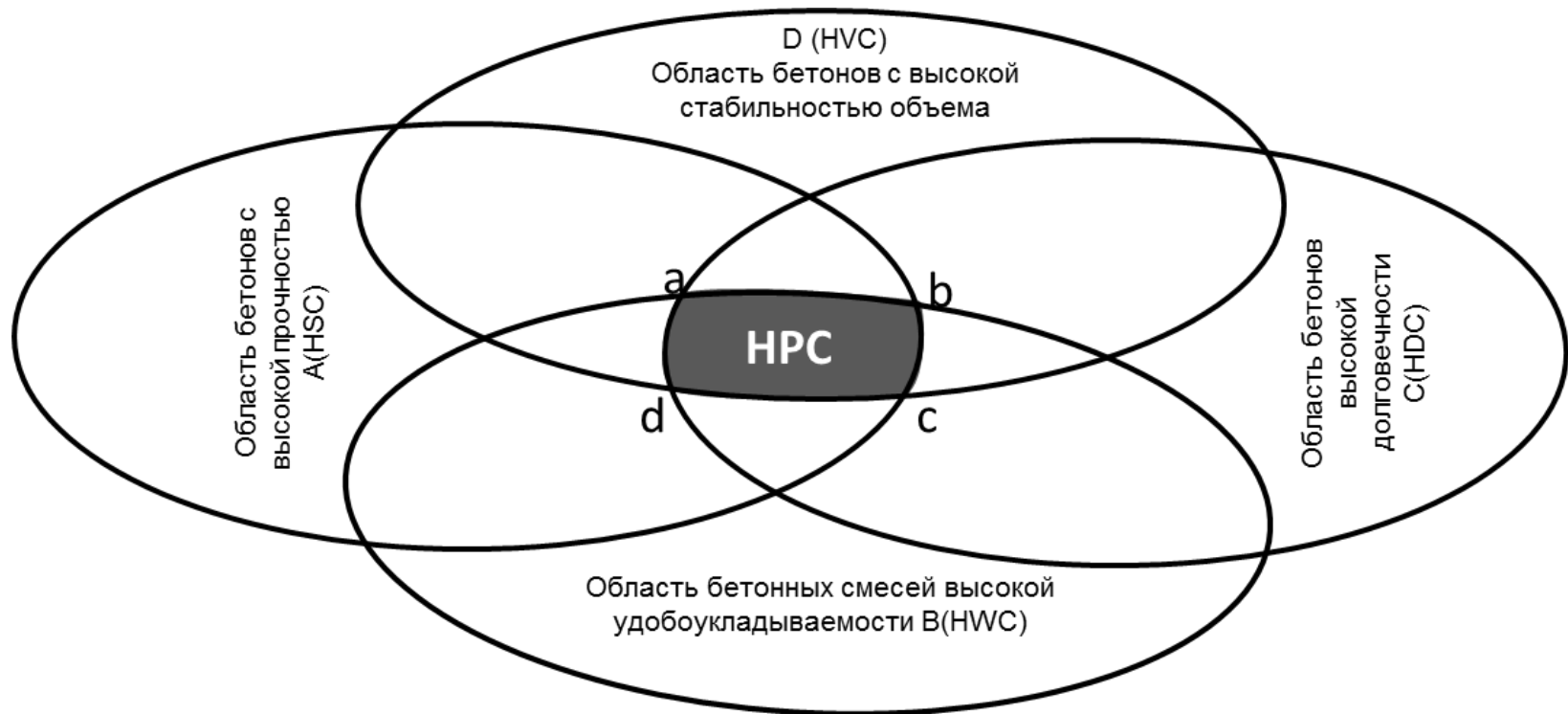


Анализ проектных характеристик бетонов применяемых при возведении современных АЭС, показал возможность их группировки на три основные группы:

1. Тяжелые бетоны со средней плотностью 2200...2500 кг/м³, классом по прочности В25...В30, маркой по водонепроницаемости W6...W8, маркой по морозостойкости F50...F300;
2. Тяжелые бетоны со средней плотностью 2200...2500 кг/м³, классом по прочности В40...В60, маркой по водонепроницаемости W6...W16, маркой по морозостойкости F50...F500;
3. Особо тяжелые бетоны со средней плотностью 3300...3400 кг/м³, классом по прочности В25, маркой по водонепроницаемости W6, маркой по морозостойкости F50.



При возведении АЭС с реактором ВВЭР – 1000 класс бетонов не превышал В35



HPC = High Performance Concrete
HPC = [A(HSC), B(HWC), C(HDC), D(HVC)],



Экономическая целесообразность применения высоко-функционального бетона

Класс бетона по прочности при сжатии	Стоимость м ³ , [%]	Стоимость каждого Н/мм ² расчетной прочности, [%]
B 25	85	120
B 45	100	100
B 65	150	90
B 85	170	80
B 105	200	70

- Классы по прочности на сжатие – от В 40 и выше
- Прочность в возрасте 1 суток естественного твердения – не менее 25-30 Мпа
- Истираемость – не более 0,3-0,4 г/см²
- Водонепроницаемость – W 12 и выше
- Морозостойкость – F 400 и выше
- Водопоглощение – 1,0-2,5 мас. %
- Высокая сопротивляемость проникновению хлоридов
- Высокая газонепроницаемость
- Высокие радиационно-защитные свойства
- Высокая стойкость к химическим и радиационным воздействиям
- Регулируемые показатели деформативности (в том числе, компенсация усадки бетона в возрасте 14-28 суток твердения)

прочность

плотность

химический
состав

Факторы, определяющие свойства ВФБ

- Водопотребность смесей
- Кинетика структурообразования
- Характер и величина тепловыделения
- Фазовый состав и структура продуктов гидратации
- Параметры поровой структуры
- Качество заполнителей
- Контактная зона

Особенности технологии ВФБ

- Высокие технологические свойства смесей (высокая удобоукладываемость, повышенная однородность)
- Повышенная тиксотропия смесей (облегчение укладки, улучшение качества поверхности изделий)
- Регулируемая сохраняемость реологических свойств
- Хорошая перекачиваемость
- Ускорение темпов твердения
- Компенсированные деформации

Качество производства бетонных работ





Повышенная восприимчивость свойств свежего бетона по отношению к внешним воздействиям

Аспекты, на которые следует обращать внимание, при работе с ВФБ

- Однородность характеристик исходных материалов и состава смеси



Требуется постоянный контроль исходных компонентов

- Влияние смесительной техники на свойства бетона
- Характеристики свежего бетона в значительной степени подвержены воздействию окружающей среды
- От рабочего персонала в значительной степени зависит качество изделия



Требуется обучение работе с ВФБ

- Нагрузка на опалубку в значительной степени зависит от скорости бетонирования

1. Цемент



2. Вода



3. Заполнитель

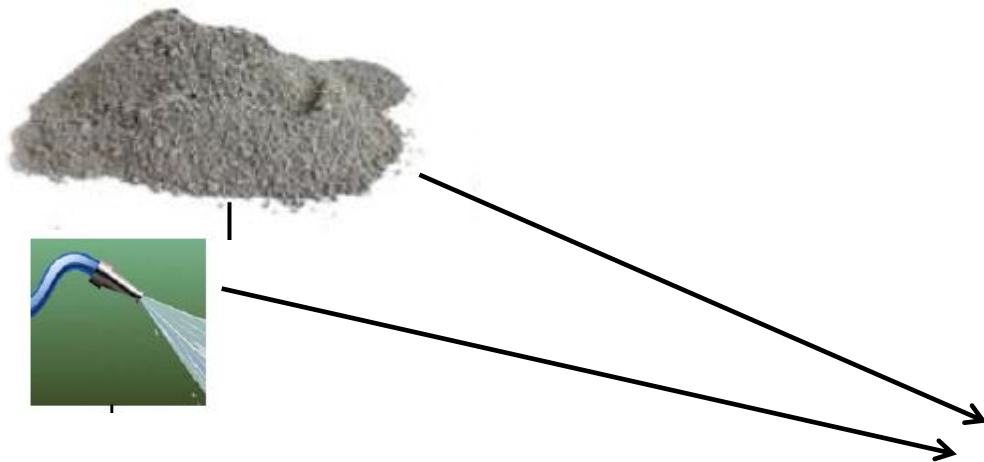


4. Наполнитель

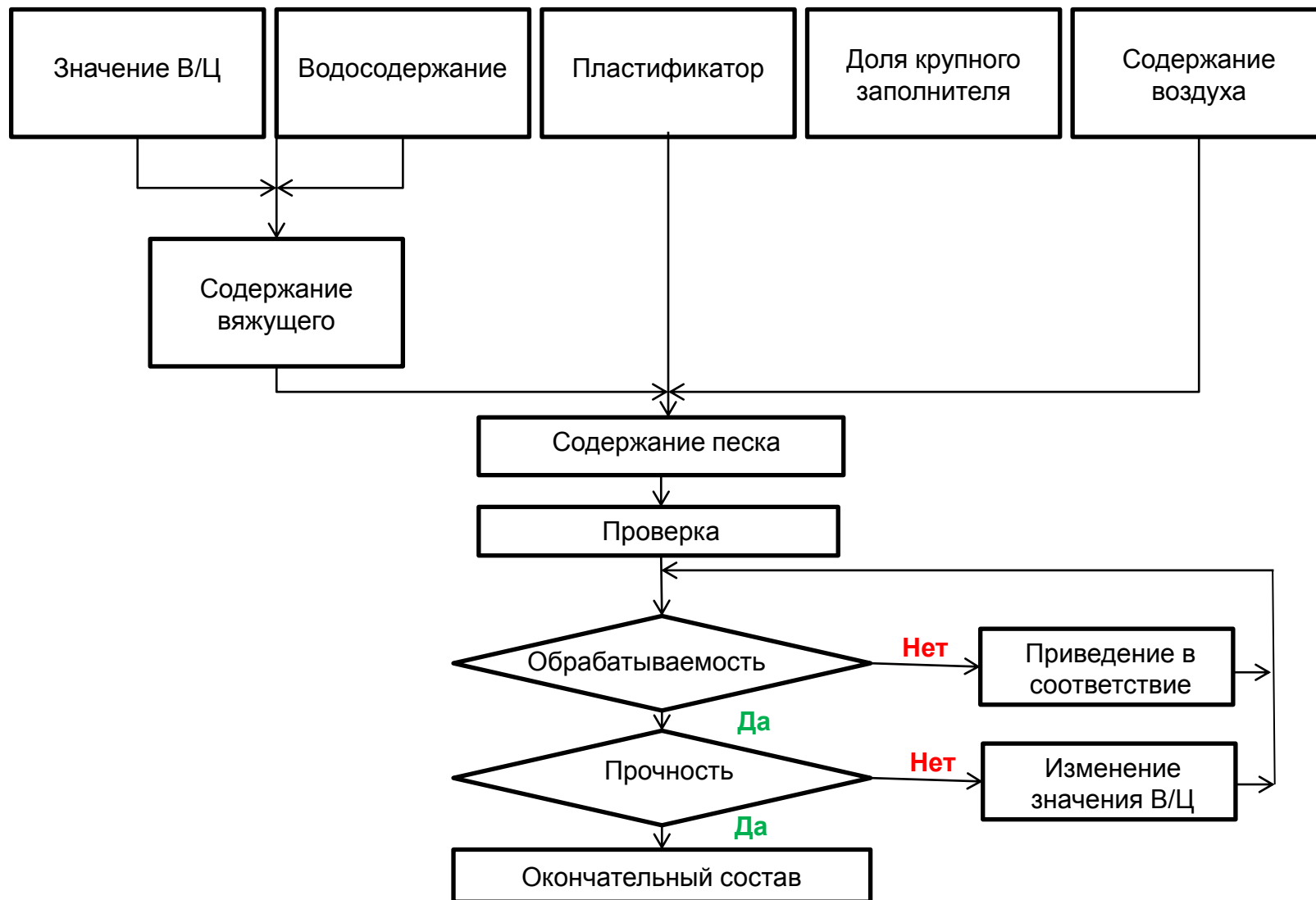
5. Добавки



6. Воздух



Фактор влияния	Вытекающие требования к бетону
Размеры и геометрия элемента конструкции	Консистенция, наибольшая крупность заполнителя D_{max} , тепловыделение
Долговечность и несущая способность	Содержание цемента, В/Ц, вид сырьевых материалов, прочность на сжатие, содержание воздушных пор, а также др. требования как морозостойкость заполнителя или применение заполнителей, устойчивых к истеранию
Легкий, тяжелый и особо тяжелый бетон	Сред. плотность бетона, вид и плотность заполнителя
Обрабатываемость и условия укладки	Консистенция, характер затвердения, стабильность
Условия окр. среды после укладки, напр. температура воздуха и ветер	Вид и содержание цемента, В/Ц, вид др. сырьевых материалов
Другие требования, напр. цвет и качество поверхности	Вид сырьевых материалов, прежде всего цемент и минеральные добавки





Информационный обмен при поставке бетонной смеси

Информация о:

- Цементе , заполнители, химических и минеральных добавках
 - Значение В/Ц
 - Результаты испытания
- Кинетика набора прочности
- Происхождение материалов

ПОТРЕБИТЕЛЬ

ПРОИЗВОДИТЕЛЬ

- Сорт, дата поставки, время поставки, объем, скорость приема материалов
 - Дополнительная информация

Транспортирование бетонной смеси

Марка по
удобоукладываемости

Транспортное средство

СЖ – сверх жесткие
Ж – жесткие

Транспортное средство
без миксера или мешалки

Подвижные П1
П2
П3
П4
П5

Автобетоносмеситель или
транспортное средство с
мешалкой



- Температура бетонной смеси при транспортировке должна быть не ниже + 5 °С и не выше + 30 °С
- Требования к максимальной и минимальной температурам и их допустимым отклонениям должны быть дополнительно согласованы, а также целевое охлаждение или нагревание перед или во время транспортировки
- Определяющей является консистенция к моменту доставки на строительную площадку
- Введение добавок во время транспортировки запрещено
- Дополнительное введение воды (при поставке на стр. площадку) **не допускается.**
- Транспортировка от БСЗ к стр. площадке и укладки бетонной смеси не должно превышать 90 мин с момента затворения. За исключением бетонных смесей с содержанием замедлителей с заданной сохраняемостью)

Укладка бетонной смеси

- Разбивка на захватки до начала бетонирования, составление плана бетонирования
- Согласование наибольшей крупности заполнителя в бетоне с учетом густоты армирования и защитного слоя бетона
- Подготовка рабочих швов (удаление загрязнения, цементного теста или рыхлого бетона, смачивание, к моменту бетонирования поверхность должна быть матово-влажной)
- Исключить расслоение при укладке (использование спускных труб для опор и стен)
- Согласовать скорость бетонирования с допустимым давлением на опалубку





Выбор метода уплотнения в зависимости от удобоукладываемости бетонной смеси

	СЖ, Ж	П1	П2	П3	П4	П5
Трамбование						
Виброобработка						
Шуровка						

Виброрейка						
Выравнивание						
Вакуумирование						

Защита свежееуложенного бетона от вредных воздействий:

- Преждевременное сильное высыхание
- Низкие и высокие температуры или резкая смена температуры
- Механические нагрузки, сотрясения, удары, повреждения
- Химические воздействия
- Дождь или циркулирующая вода при незащищенной поверхности свежееуложенного бетона

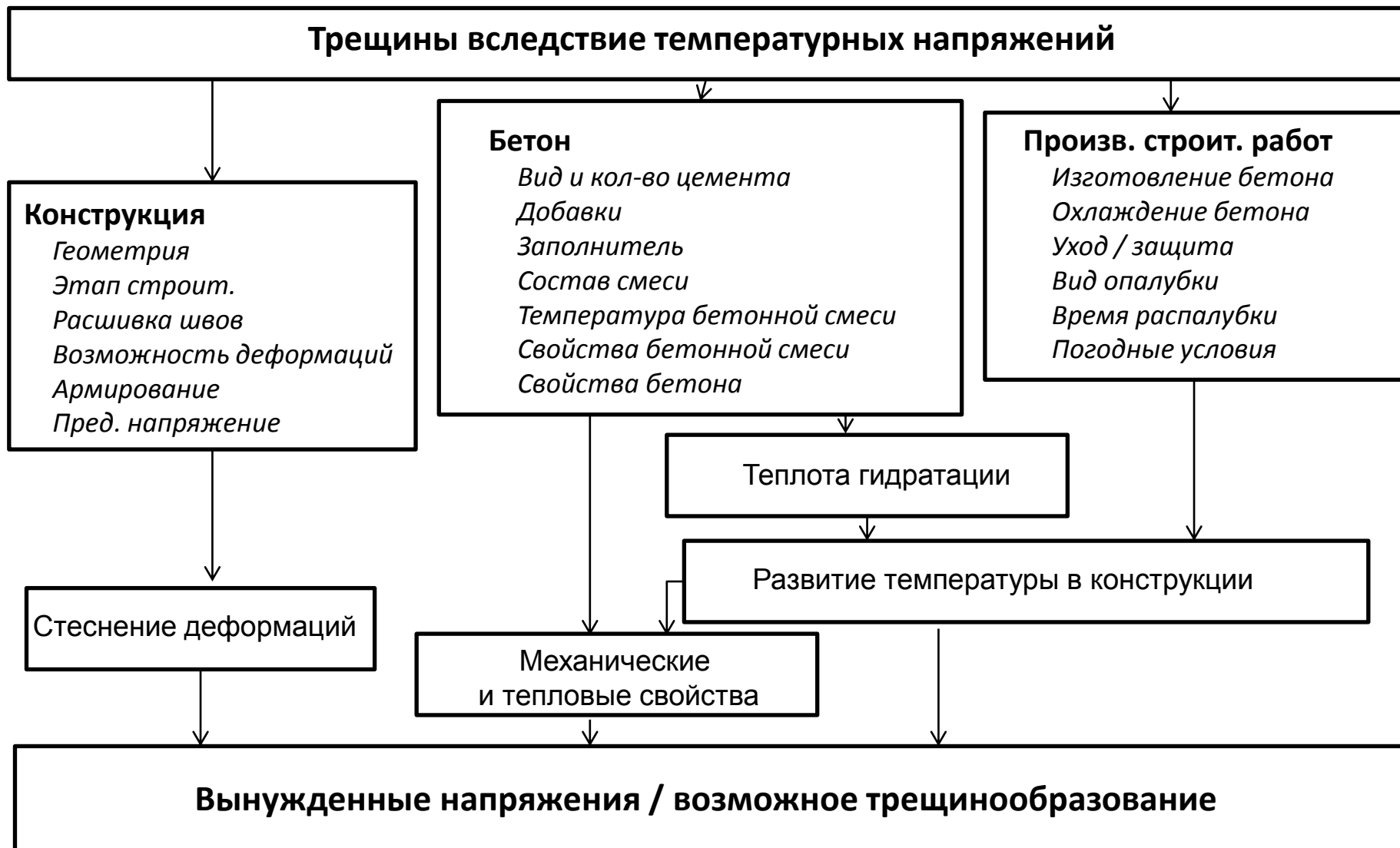
Последствия плохого ухода:

- Нарушение процесса гидратации и низкая прочность бетона
- Пористая структура вследствие возникновения дополнительных капиллярных пор
- Склонность поверхности к осыпанию
- Снижение прочности, плохая защита арматуры от коррозии
- Снижение стойкости к погодным условиям и химической агрессии
- Изменение объема и формы бетонной конструкции
- Возникновение трещин в результате усадки в раннем возрасте
- Повышение опасности усадки в результате высыхания затвердевшего бетона

	Пластическая 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	0 до -4 мм/м	0 до -1 мм/м	До -0,5 мм/м (в зависимости от влажности)
Причины	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 $< 95 \%$

Параметр		Влияние на усадку, ϵ_{CS}	
Технологические	Значение В/Ц ω	$\omega \downarrow$	$\epsilon_{CS} \downarrow$
	Объем цементного камня, Z	Z \downarrow	$\epsilon_{CS} \downarrow$
	Вид цемента: медленно затвердевающий SL, быстро затвердевающий (высокопрочный) R, (RS)	SL, R, RS	$\epsilon_{CS}(SL) < \epsilon_{CS}(R) < \epsilon_{CS}(RS)$
	Пуццоланов. добавки, как микрокремнезем SF	SF \downarrow	$\epsilon_{CS} \downarrow$
	Жесткость заполнителя E_a	$E_a \downarrow$	$\epsilon_{CS} \downarrow$
Внешние	Отн. влажность окр. среды, RH	RH \downarrow	$\epsilon_{CS} \downarrow$
	Эфф. толщ. элемента при возмож. высыхании, h	h \downarrow	$\epsilon_{CS} \downarrow$
	Температура окр. среды, T	N \downarrow	$\epsilon_{CS} \downarrow$

Трещины вследствие температурных напряжений



Контрольные точки обеспечения качества производства и укладки ВФБ:

- Квалификация всех участников производственного процесса
- Назначение ответственных лиц, управляющих процессом
- Контроль качества исходных материалов
- Контроль средств производства (например, дозирующей, смесительной, транспортной и укладываемой техники)
- Контроль качества опалубки (герметичность, чистота, степень готовности), арматуры (положение, конструкция и т.д.) и окружающих условий
- Контроль свежего бетона (время, отбор проб, метод контроля, средства контроля, критерии, документация)
- Регламентация транспортировки и укладки бетона
- Контроль жесткого бетона, а также конечного продукта

Состав бетона

- В случае нарушения стабильности характеристик исходных компонентов состав бетона должен быть заново оптимизирован;
- Высокое содержание цемента, добавок и микросилики.

Изготовление и транспортировка бетона

- Увеличенное время перемешивания;
- Необходимость в более частой чистке миксера;
- Дополнительное дозирующее и складское оборудование для микросилики;
- Для монолитного бетона, как правило, вмешивание добавок прямо на строительной площадке;
- Регламентированное время транспортировки к месту укладки

Укладка

- Текучая консистенция, обеспечивающая беспроблемное бетонирование, также при высоком проценте армирования;
- В особых случаях возможен отказ от уплотнения
- Более короткое время в опалубке, учитывая высокую раннюю прочность
- Требуется повышенный контроль удобоукладываемости

Персонал

- Дополнительное обучение

**СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ**