

ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНОВ В ЖАРКОМ КЛИМАТЕ

А.Б. ТРИНКЕР, доктор техн. наук

Ключевые слова: суперпластификаторы, марка бетона, защитные мероприятия по технологии бетонов, качество, долговечность бетона, твердение

Keywords: superplasticizers, concrete brand, protective measures for concrete technology, quality, durability of concrete, hardening

В статье говорится об опыте строительства на Экибастузской ГРЭС в Казахстане первых высотных инженерных сооружений в Средней Азии. Это были дымовые трубы высотой 300, 330 и 420 метров из железобетона с проектными марками М400 (класс В30), F300 и W8. Особо отмечается, что их возведение осуществлялось в условиях резко континентального климата.



С 1970 г. – старший инженер НИИЖБ Госстроя СССР, в 1977-1983 гг. – главный технолог высотных и подземных сооружений Гидроспецстроя Минэнерго СССР, в 1983-1985 гг. – главный специалист технического отдела Всесоюзного объединения азота и оргсинтеза ГИАП Минхимпрома СССР, в 1985-1991 гг. – главный технолог по новой технике КТБ Главмоспромстройматериалов Мосстройкомитета, в 1991-1996 гг. – главный инженер завода ЖБИ в Лихоборах 1-го Строительно-монтажного треста Минсредмаша СССР, с 1998 г. – консультант Regeneration Technology Centre & Consulting Development Innovation. Имеет несколько патентов и медалей ВДНХ СССР, более 130 печатных работ

В 2010 г. в Дубае (ОАЭ) был построен самый высокий в мире небоскреб «Башня Халифа» (Burj Khalifa), полная высота которого достигла 828 метров. Проект разрабатывало американское архитектурное бюро, а строила южнокорейская фирма с 2004-го по 2010 г. В отчете строительной фирмы указано: «Специально для «Бурдж-Халифа» была разработана особая марка бетона, которая выдерживает температуру до 50°C. Бетонную смесь укладывали только ночью, в бетонную смесь добавляли лед... Строительство «Бурдж-Халифа» заняло 6 лет, затрачено 22 миллиона человеко-часов. Были наняты более чем 30 локальных подрядчиков и 12 тысяч рабочих из 100 стран. Проект был действительно глобален по своей природе» [9].

Интересно, что применение даже самых последних достижений XXI века в технологии бетона (суперпластификаторы очередного поколения, лед в бетонной смеси, бетонирование только ночью и только два раза в неделю) и логистике (миксеры, бетононасосы) не всегда гарантировало нужные темпы строительства и качество бетона.

Кстати, отечественные строители имеют значительно более богатый и многосторонний опыт производства работ в условиях жаркого и сухого климата, при солнечной радиации и штормовых ветрах. Выбор материалов, проектирование и подборы составов любого бетона для любого климата в мире, то есть от -50°C (например, в Якутске) до 55°C и при любой влажности производят российские

строительные лаборатории в течение 60 лет в соответствии с универсальным «Руководством по проектированию и подбору составов гидротехнического и обычного бетона» (1957 г.) [1], главные принципы которого: простота, доступность, ускоренная (за 1-2) дня методика, точность результатов.

По определению, жаркий и сухой климат при температуре выше 25°C и относительной влажности менее 50% требует многих специальных дополнительных мероприятий в технологии бетона.

В ОАЭ климат жаркий морской, но не сухой, температура достигает 50°C, зато относительная влажность воздуха – в пределах 90%, что не способствует быстрому высыханию твердеющего бетона.

Наоборот, в Экибастузе при температуре 55°C в тени относительная влажность воздуха составляет 25-30%, что как насосом вытягивает всю влагу из твердеющего бетона. В таком климате твердеющий бетон без защиты просто рассыпается.



В период с 1977-го по 1980 г. на Экибастузской ГРЭС №1 были построены дымовые трубы 300 и 330 метров высотой из железобетона с проектными марками М400 (класс В30), F300 и W8 (фото 1). Основные параметры трубы следующие: наружный диаметр у основания – 32 метра, наружный диаметр верхнего створа – 12 метров, толщина стенки изменяется от 0,8 метра у основания до 0,3 метра в верхней части. Расчетная высокая сейсмичность – 9 баллов – вынудила использовать усиленную арматуру периодического профиля диаметром 38 мм, что привело к необходимости применять литую смесь с подвижностью 24–26 см осадки стандартного конуса.

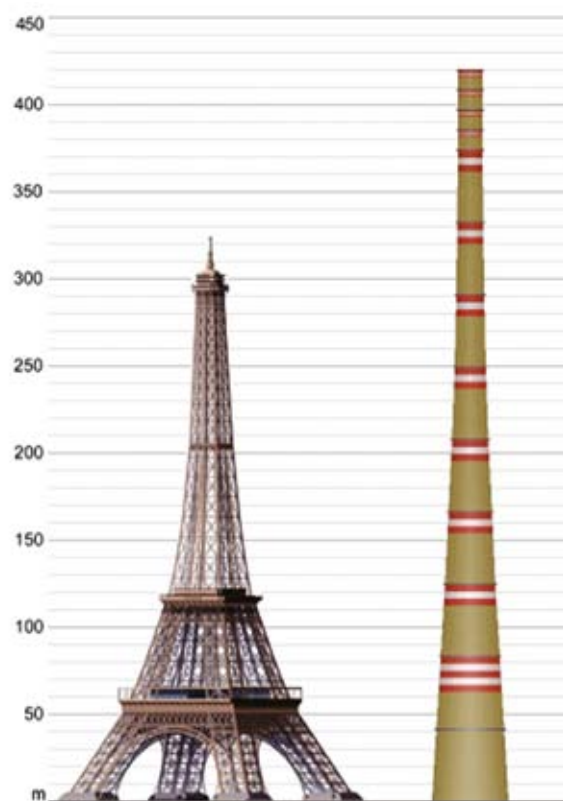
В 1985 г. на Экибастузской ГРЭС №2 была построена дымовая труба высотой 420 метров (фото 2). Ее диаметр у основания – 44 метра, на отметке 420 метра – 14,2 метра.

Объекты возводили ВО «Гидроспецстрой» Минэнерго СССР и трест «Спецжелезобетонстрой» Минмонтажспецстроя СССР. В бригадах было по 200 рабочих на каждой трубе, строительство каждой трубы происходило около двух лет, причем труба №1 сооружалась с последующим монтажом второго внутреннего ствола из кремнебетонных панелей, труба №2 – с одновременным бетонированием внутреннего ствола из легкого керамзитобетона с химдобавкой АЦФ.

В отличие от жилых небоскребов, дымовые трубы должны долго и без ремонта работать в условиях высокоагрессивных сред, например конденсатов из разных кислот, выделяющихся из продуктов сгорания топлива на ГРЭС, а также быть коррозионно-стойкими.

Резко континентальный климат Казахстана показал серьезные проблемы в технологии бетонов. Температуры в зимний период опускались до -40°C со штормовыми ветрами, от которых падали башенные краны и стены главного корпуса, в летние месяцы температура воздуха достигала 55°C в тени при относительной влажности 25–30%. Причем за одни только сутки колебания температуры достигали $30\text{--}40^{\circ}\text{C}$. Так, в июле 1978 г. в 7 часов утра, когда производственные бригады отправлялись на автобусах от городского общежития на стройку, температура воздуха была на отметке $16\text{--}20^{\circ}\text{C}$, в 12 часов дня она была уже 40°C , а через три часа поднималась до 55°C . Затем начиналось ее понижение, и к моменту возвращения бригад в город (20:00, 12-часовые смены) температура опускалась до $30\text{--}35^{\circ}\text{C}$, а ночью воздух остывал до $16\text{--}20^{\circ}\text{C}$.

В жарком и сухом климате твердеющий бетон подвергается таким вредным воздействиям, как солнечная радиация; ветер форсирует испарение влаги из бетона сооружений, имеющих большую открытую поверхность. Это приводит к внутреннему массо- и теплопереносу и к переменным термическим напряжениям в их стенках. Необходимость получения высокой подвижности литых бетонных смесей повышает расход цемента, что вызывает усадку при переменном по периметру сооружения нагреве от солнечной радиации. Трещины в бетоне сооружений возникают под влиянием температурных перепадов и усадочных напряжений, возникающих в бетоне в процессе тепло- и массообмена с окружающей средой.



Интенсивное испарение влаги уменьшает степень гидратации цемента и приводит к образованию направленных капилляров, ухудшающих микро- и макроструктуру цементного камня и бетона; резко понижается качество бетона, его плотность, прочность, долговечность. Образование трещин и ухудшение структуры бетона под воздействием переменной по величине солнечной радиации по периметру сооружения приводят к необратимым изменениям в бетоне. Поэтому необходимо обеспечить уменьшение величины и интенсивности испарения влаги из бетона и создать все требуемые условия для полной гидратации цемента и образования оптимальной структуры цементного камня и бетона, благодаря выравниванию градиентов влажности и температуры по сечению стенок сооружения. Это достигается путем влагозащиты и теплозащиты бетона.

Бетонирование дымовых труб Экибастузских ГРЭС происходило непрерывно и круглосуточно. На ЭкГРЭС-1 дымовая труба №1 возводилась в скользящей опалубке, а труба №2 – в переставной. Было практически доказано: даже в самых жестких климатических условиях при температуре 55°C и относительной влажности 30% темпы подъема скользящей опалубки достигали 3–4 метра в сутки, а скорость подъема в переставной составляла 1 метр в сутки.

В бетонные смеси вводили самую надежную, простую, безопасную в применении добавку – СДБ (ПАВ), которая гарантированно обеспечила получение литой (24–26 см) бетонной смеси и одновременно самых высоких проектных марок бетона в сооружении: М400 (класс В30), F300, W8. Лабораторный контроль качества на всех технологических операциях был сразу организован в непрерывном круглосуточном режиме.



Применение скользящей опалубки для уникального сооружения было осуществлено в СССР впервые с целью ускорения темпов и повышения качества строительства, учитывая, что при переставной опалубке для сооружения высотой 330 метров будет соответственно 330 рабочих швов, в которых бетон более проницаем, а вся конструкция немонолитная. Однако торопливость высшего начальства и категорическое требование начать работы 12 апреля 1978 г. без запаса строительных материалов необходимого качества могли привести к аварии. Автор статьи был вынужден завысить марку проектируемого бетона. Кроме того, строительное управление ССМУ «Энерговвысотспецстрой» не смогло наладить непрерывный и постоянный геодезический контроль, используя приборы вертикального проектирования PZL. В результате при темпах подъема опалубки 3-4 метра в сутки возникли отклонения от вертикали до 600 мм. Контрольная проверка ультразвуковыми приборами показала прочность бетона выше проектной (М450-М500), и только поэтому проектировщики согласовали окончательную высоту трубы №1 равной 300 метрам, то есть завышение проектной марки бетона спасло дымовую трубу №1 ЭкГРЭС-1 в 1979 г.

Для защиты от высыхания твердеющий бетон после выхода из-под опалубки немедленно покрывали раствором водорастворимого полимера КМЦ, который надежно защищал бетон и обеспечивал полную гидратацию цемента до набора проектной прочности бетоном. Испытания контрольных образцов бетона, хранившихся в условиях конструкции, на прочность при сжатии подтвердили проектные марки бетона инженерных сооружений.

Процент введения ПАВ в бетонные смеси в течение суток варьировался, его дозировка менялась строительной лабораторией 3-4 раза за сутки в зависимости от изменения температуры воздуха, что обеспечило постоянное качество и подвижность бетонной смеси при укладке в опалубку с учетом потерь во времени.

Также эффективно применялись теплозащитные покрытия от солнечной радиации для выравнивания температуры по всему сечению сооружения.

Экибастузские ГРЭС №1 и №2 непрерывно работают уже 40 лет, производя электрическую энергию для всего Казахстана, что доказывает высокую долговечность бетона и надежность возведенных советскими строителями дымовых труб. Причем имеются дополнительные мощности, так

как электростанции работают не в полную нагрузку, соответственно, при необходимости можно увеличить поставки электроэнергии для новых потребителей в республике или за ее пределами, подключив резервные котлоагрегаты.

Опыт круглогодичного строительства в Казахстане при критических параметрах: температуре 55°C и относительной влажности воздуха 25-30% указывает на необходимость строгого выполнения всех требований по подготовке, изготовлению бетонной смеси и уходу за твердеющим бетоном, геодезическому контролю, что обеспечило высокую долговечность сооружений.

В результате применения простейших и надежных отечественных технологий бетона и строительных материалов был получен огромный экономический эффект. Следует учесть, что возведенные советскими инженерами высотные железобетонные сооружения никогда не красили (исключение — маркировочная сигнальная покраска для самолетов), а все небоскребы в мире защищены нержавеющей металлом, стеклом и силиконом; старые металлоконструкции (Эйфелева башня) периодически красят.

Выводы:

В 1950-1980-е годы советские строители, энергетики, монтажники успешно возводили многочисленные железобетонные сооружения во многих странах мира, можно вспомнить знаменитые Бхилайский металлургический завод в Индии, Асуанскую плотину в Египте, ТЭЦ «Исфаган» в Иране, ГЭС «Хоабинь» во Вьетнаме, созданные в Китае восемь сотен заводов и комбинатов, плотины в Аргентине, Боливии и многие-многие другие объекты, построенные в особых условиях жаркого климата.

Библиографический список:

1. Тринкер Б.Д. Руководство по проектированию и подбору состава гидротехнического и обычного бетона, Минстрой РСФСР, НИИЖБ, – Москва, 1957.
2. Бужевич Г.А. Испарение влаги из бетона / Сборник трудов НИИЖБ, вып. 1, – Москва, 1957.
3. Тринкер Б.Д., Плутенко В.П. Защита от коррозии железобетонных вентиляционных и дымовых труб, работающих в условиях агрессивных газов, Минстрой РСФСР, НИИЖБ, – Москва, 1959.
4. Шестоперов С.В., Тринкер Б.Д. Опыт применения пластификаторов и пластифицированных цементов при производстве железобетона, – Москва: МДНТП, 1970.
5. Шейкин А.Е., Баранов А.Т. О влиянии капиллярной усадки на трещиностойкость бетона // Бетон и железобетон, №5, 1974.
6. Тринкер Б.Д., Иванов Ф.М., Ратинов В.Б. Практический опыт и перспективы применения химических добавок для повышения качества бетона / Тезисы докладов VIII Всесоюзной конференции по бетону и железобетону, – Москва: Стройиздат, 1977.
7. Заседателев И.Б. Принципы круглогодичного возведения монолитных промышленных сооружений // Сборник трудов ВНИПИ Теплопроект, вып. 47, – Москва, 1979.
8. www.great-towers.com/towers.
9. CTL Group. Burj Khalifa, the Tallest Building in the World. Last modified 2011. Accessed – Nov. 15, 2011. Materials – Burj Khalifa – Google Sites.
10. Тринкер А.Б. Как рождалась Останкинская телебашня // Технологии бетонов, №9-10, 2017, с. 52-55.