



ISSN 1993-3495 online

**СОВРЕМЕННОЕ ПРОМЫШЛЕННОЕ И ГРАЖДАНСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО
СУЧАСНЕ ПРОМИСЛОВЕ ТА ЦИВІЛЬНЕ БУДІВНИЦТВО
MODERN INDUSTRIAL AND CIVIL CONSTRUCTION**

2018, ТОМ 14, НОМЕР 2, 41–49

УДК 69:551.587

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬСТВА

А. Б. Тринкер

Regeneration Technology Centre & Consulting Development Innovation

до востребования, г. Москва, Россия, 105066.

E-mail: AlexT47@yandex.ru

Получена 15 февраля 2018; принята 25 мая 2018.

Аннотация. На основе систематизированного автором материала в статье рассмотрены некоторые проблемы, связанные с воздействием климатических факторов (прежде всего температуры и влажности), которые возникали при возведении ряда уникальных зданий и сооружений из монолитного железобетона («Бурдж-Халиф» (ОАЭ), дымовые трубы Экибастузской (Казахстан) и Киришской (РФ) ГРЭС). Рассмотрены основные факторы, снижающие эксплуатационную надежность возводимых объектов, и предложены уникальные, на тот момент, технические решения, способствовавшие реализации исходных проектных решений и обеспечившие высокое качество работ.

Ключевые слова: всепогодный бетон, защитные мероприятия долговечность бетона, климатические воздействия, качество.

КЛІМАТИЧНІ ПРОБЛЕМИ БУДІВНИЦТВА

О. Б. Трінкер

Regeneration Technology Centre & Consulting Development Innovation

до вимоги, м. Москва, Росія, 105066.

E-mail: AlexT47@yandex.ru

Отримана 15 лютого 2018; прийнята 25 травня 2018.

Анотація. На основі систематизованого автором матеріалу у статті розглянуто деякі проблеми, пов'язані з впливом кліматичних чинників (насамперед температури і вологості), які виникали при зведенні ряду унікальних будівель і споруд з монолітного залізобетону («Бурдж-Халіф» (ОАЕ), димові труби Екібастузської (Казахстан) і Кіришської (РФ) ГРЕС). Розглянуто основні чинники, що знижують експлуатаційну надійність об'єктів, що зводяться, і запропоновані унікальні, на той момент, технічні рішення, які сприяли реалізації вихідних проектних рішень і забезпечили високу якість робіт.

Ключові слова: всепогодний бетон, захисні заходи, довговічність бетону, кліматичні впливи, якість.

CLIMATIC PROBLEMS OF CONSTRUCTION

Alexander Trinker

Regeneration Technology Centre & Consulting Development Innovation,

poste restante, Moscow, Russia 105066.

E-mail: AlexT47@yandex.ru

Received 15 February 2018; accepted 25 May 2018.

Abstract. Based on the material systematized by the author, the article discusses some of the problems associated with the impact of climatic factors (primarily temperature and humidity) that arose during the erection of a number of unique buildings and structures from monolithic reinforced concrete (Burj Khalif (UAE, chimneys of Ekibastuz (Kazakhstan) and Kirishi (RF) GRES). The main factors that reduce the operational reliability of the constructed facilities and proposed unique, at that time, technical solutions that contributed to the implementation of the original design solutions and ensured a high quality of work were considered.

Keywords: all-weather concrete, protective measures durability of concrete, climatic effects, quality.

Введение

Экстремальные климатические условия, воздействие которых обуславливает усложнение технологических процессов, направленных на обеспечение требуемого уровня качества возводимых объектов, связано прежде всего с воздействием экстремально низких или высоких температур наружного воздуха, высокими ветровыми нагрузками, высокой влажностью воздуха, характерной для районов морского побережья.

Для бетонных работ это традиционно связано с выполнением ряда дополнительных мероприятий, направленных на набор критической прочности по морозостойкости или прочности, требуемой для восприятия проектных нагрузок:

а) при пониженных температурах:

- выбор и технико-экономическое обоснование способа зимнего бетонирования с разработкой технологических карт;
- мероприятия по сохранению начальной тепловой энергии бетонной смеси как в период её доставки к строительному объекту, так и во время укладки в опалубку;
- удаление снега и гололедных отложений из опалубки и арматурного каркаса;
- увеличение времени уплотнения бетона при его укладке в конструкцию;
- соблюдение установленных технологическим регламентом заданных температурно-влажностных и других условий выдерживания бетона в опалубке;

– достижение требуемой прочности бетона по морозостойкости до его замораживания;

б) мероприятия, реализуемые при повышенных температурах, характерных для жаркого климата (температура окружающего воздуха выше 25 °С и относительная влажность воздуха ниже 50 %) направлены на решение проблемы обезвоживания бетона:

- поливка бетона водой;
- устройство теплоизоляционных материалов, предотвращающих испарение воды из бетонной смеси.

В настоящее время уровень решения этой проблемы базируется на тщательной проработке технологических решений (зачастую индивидуальных) в сочетании с применением современных технологий и строительных материалов, комплексной механизации технологических процессов, неукоснительном выполнении всех технологических регламентов. При этом авторами должен быть решен ряд важнейших задач, а именно:

- критический анализ современного состояния вопроса технологии бетонных работ с учетом воздействия указанных факторов;
- обоснование соответствующей технологии приготовления бетонной смеси;
- установление рамочных технологических параметров для всего комплекса опалубочных, арматурных и бетонных работ в сочетании с выбором технологических комплектов средств механизации бетонных работ;

Однако, как показывает приведенный ниже материал, многие из современных «новшеств» были предложены и апробированы ранее советскими инженерами-строителями и технологами, что позволило добиться выдающихся для своего времени результатов.

Основная часть

1. Burj Khalifa

В Дубае (ОАЭ) в 2010 году было завершено строительство самого высокого в мире небоскрёба – «Башня Халифа» (Burj Khalifa in Dubai, U.A.E.), полной высотой 828 метров [5]. Проектирование осуществляло американское архитектурное бюро, возведение – южнокорейская фирма. Общий срок строительства охватывал период с 2004 по 2010 годы. В отчёте фирмы было указано на ряд интересных моментов, а именно:

- «...специально для «Бурдж-Халифа» была разработана особая марка бетона, которая выдерживает температуру до $+50^{\circ}\text{C}$. Бетонную смесь укладывали только ночью, в бетонную смесь добавляли лёд»;
- «...строительство Бурдж-Халифа заняло 6 лет. Чтобы закончить, использовали 22 миллиона человеко-часов, были наняты более чем 30 локальных подрядчиков и 12 000 рабочих из 100 стран. Проект был действительно глобален по своей природе».

При всей амбициозности проекта можно кратко констатировать, что в отношении уникальности разработанных составов бетона и технологических приемов, учитывающих климатические условия строительства, этот пафос, мягко говоря, преувеличен.

Применение даже самых последних «достижений» XXI века в строительстве (суперпластификаторы «очередного» придуманного поколения, лёд в бетонной смеси, бетонирование только ночью и только 2 раза в неделю) и логистике (миксеры, бетононасосы) не всегда гарантировало темпы (сроки) и качество бетона.

Отечественные строители имеют значительно более богатый, давний и многосторонний опыт [1, 2, 3, 4] производства работ в условиях жаркого и сухого климата, при солнечной радиации и штормовых ветрах, в настоящем катастрофическом климате. Выбор материалов, проектирование и подбор составов любого бетона для

любого климата в мире, то есть от -50°C (например в Якутске) до $+55^{\circ}\text{C}$ и при любой влажности, производят строительные лаборатории уже в течение 60 лет в соответствии с универсальным «Руководством по проектированию и подбору составов гидротехнического и обычного бетона» 1957 г. (автор Б. Д. Тринкер, рис. 1), главные принципы которого: простота, доступность, ускоренная за 1–2 дня (!!!) методика всех расчётов, отсутствие сложных формул, точность и прогнозируемость результатов.

2. Дымовые трубы Экибастузской ГРЭС

Как было отмечено во введении, по определению жаркий и сухой климат характеризуется температурно-влажностным режимом с температурой выше $+25^{\circ}\text{C}$ и относительной влажностью менее 50 %, что требует многих специальных дополнительных мероприятий в технологии бетона.



Рисунок 1. Автор «всемирной эры химизации строительства и модифицирования бетона», к. т. н. Б. Д. Тринкер. Организация контроля качества на Останкинской телебашне, 1963 г.

В ОАЭ климат жаркий морской, но не сухой (температура достигает $+50^{\circ}\text{C}$), но зато относительная влажность воздуха находится в пределах 90 %, что не способствует быстрому высыханию твердеющего бетона и несколько смягчает экстремальность климатических условий.

Наоборот, в Казахском Экибастузе с его резко континентальным климатом, кроме высокой температуры ($+55^{\circ}\text{C}$ в тени), одновременно характерна относительная влажность воздуха не выше 25–30 %, что, как насосом, вытягивает всю влагу из твердеющего бетона! Естественно, что в таком климате твердеющий бетон без защиты рассыпается в прах.

В период с 1977 по 1980 годы в Казахстане на Экибастузской ГРЭС № 1 (мощностью 4 млн кВт) были построены первые самые высотные в Азии инженерные сооружения – дымовые трубы высотой 300 и 330 метров из железобетона с проектными марками М400 (класс В30), F300 и W8 (рис. 2). Основные параметры трубы:

- наружный диаметр у основания – 32 м;
- наружный диаметр верхнего створа – 12 м;
- толщина стенки изменяется от 0,8 м у основания до 0,3 м в верхней части.

Расчётная высокая сейсмичность в 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 1986 году на Экибастузской ГРЭС № 2 была построена самая высокая в мире дымовая труба высотой $H = 420$ м (рис. 3). Диаметр трубы у основания 44 м, на отметке 420 м – 14,2 метра. Объем бетона составляет $35\,000\text{ м}^3$. Это сооружение было и до сих пор остается уникальным достижением инженерной мысли XX века, учитывая новизну разработанных подходов (технология и материалы являются изобретением к. т. н. Б. Д. Тринкера):

- новой технологии одновременного (!!!) монтажа наружного и внутреннего стволов;
- использования бетона нового поколения;
- выполнения внутреннего ствола из лёгкого бетона с полимерной добавкой, который выдерживает кислотную коррозию конденсата от дымовых газов;
- и многих других новшеств.

Организация, осуществившая строительство этого уникального объекта, попавшего в Книгу



Рисунок 2. Экибастузская ГРЭС № 1 (1977–1980 гг.): дымовые трубы $H = 300$ м и $H = 330$ м (автор проекта и технологии – к. т. н. Б. Д. Тринкер, автор бетона – А. Б. Тринкер).

рекордов Гиннеса – трест «Спецжелезобетонстрой» Минмонтажспецстроя СССР.

3. Дымовая труба Киришской ГРЭС

В 1980 на Киришской ГРЭС в особых зимних условиях при $-30-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ с применением скользящей опалубки и суперпластификатора ЛТМ была построена 320-метровая дымовая труба (рис. 4). Скорость подъёма опалубки достигала рекордных значений (3–6 метров в сутки) с единственным иностранным оборудованием – бетононасосом (автор технологии и бетона – А. Б. Тринкер).

4. Сравнительный анализ климатических воздействий и предложенных технических решений

Сравнивая с «Башней Халифа» (рис. 5), рассмотренные выше инженерные сооружения в виде дымовых труб уникальной конструкции, можно отметить следующее:

- каждую дымовую трубу строили генподрядчик – трест Экибастузэнергострой Минэнерго СССР (владелец БСУ и складского хозяйства), и субподрядчик:
- трубу № 1 – В.О. «Гидроспецстрой» Минэнерго СССР;

- трубу № 2 – трест «Спецжелезобетонстрой» Минмонтажспецстроя СССР;
- в бригадах было по 200 рабочих на каждой трубе;
- на строительство каждой трубы уходило около двух лет:
- для трубы № 1 следует учесть последующий монтаж второго внутреннего ствола из железобетонных панелей,
- для трубы № 2 – одновременное бетонирование внутреннего ствола.

В отличие от жилых небоскрёбов, построенных в XXI веке, дымовые трубы должны долго и без капитального ремонта работать в высокоагрессивных средах – конденсатах разных кислот, выделяющихся из продуктов сгорания топлива на ГРЭС. Бетон дымовых труб дополнительно должен быть коррозионноустойчивым в высокоагрессивных средах, то есть в условиях, не сравнимых с условиями эксплуатации любых небоскрёбов в любых городах!

Резко континентальный климат Казахстана показал серьёзные проблемы в науке строительства из монолитного бетона. Температуры в зимний период достигали $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ со штормовыми ветрами, от которых падали башенные краны и стены главного корпуса. В летние месяцы температура воздуха достигала $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$ в тени при

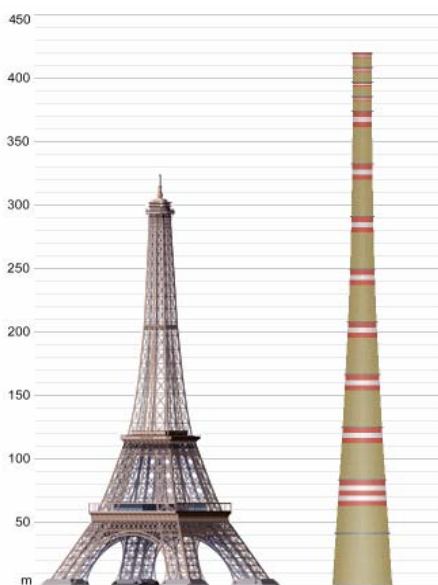


Рисунок 3. Самая высокая в мире железобетонная дымовая труба $H = 420\text{ м}$ Экибастузской ГРЭС № 2 (1986 г.).



Рисунок 4. Дымовая труба $H = 320\text{ м}$ Киришской ГРЭС (1980 г.).



Рисунок 5. Самые высокие небоскребы.

относительной влажности воздуха 25–30 % (для сравнения в Дубае (ОАЭ) – 90 %). При этом в течение одних суток колебания воздуха достигали 30–40 °С. Например, в июле 1978 г. в 7.00 утра, когда производственные бригады отправлялись в автобусах от городского общежития на стройку, температура воздуха была +16–20 °С, в 12.00 – достигала +40 °С, а в 15.00 – +55 °С, после чего начиналось медленное падение температуры, и в момент возвращения бригад в город к 20.00 (при 12-часовых сменах) температура составляла +30–35 °С (ночью воздух «остывал» до +16–20 °С).

Как отмечалось выше, в жарком и сухом климате твердеющий бетон подвергается негативным воздействиям в виде солнечной радиации и ветра, форсирующих испарение влаги из бетона сооружений, которые имеют 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. Вследствие этого под влиянием усадки в бетоне сооружений от температурных и усадочных на-

пряжений возникают трещины, обусловленные процессами 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, что, в свою очередь, резко понижает 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 в качестве технологических мероприятий 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, что происходит благодаря выравниванию градиентов влажности и температуры по сечению стенок сооружения и достигается при помощи влаго- и теплозащиты бетона.

Бетонирование дымовых труб Экибастузских ГРЭС происходило непрерывно и круглосуточно. При этом, дымовая труба № 1 на ЭКГРЭС № 1 возводилась в скользящей опалубке, а труба № 2

ЭкГРЭС № 1 – в переставной. На практике было доказано: даже в самых жёстких климатических условиях при температуре +55 °С и относительной влажности 30 % темпы подъёма скользящей опалубки достигали 3–4 метра в сутки, а скорость подъёма в переставной опалубке составляла 1 метр в сутки. В бетонные смеси вводили самый надёжный, простой, безопасный в применении (успешно применяемый с 1947 года) ПАВ – СДБ, который гарантированно обеспечил получение литой (с подвижностью 24–26 см осадки стандартного конуса) бетонной смеси и одновременно самых высоких проектных марок бетона в сооружении: М400 (класс В30), F300, W8. Лабораторный контроль качества на всех этапах технологического цикла (производство бетонной смеси на БСУ – укладка в опалубку – последующий уход) был сразу организован, как непрерывно-круглосуточный.

Применение скользящей опалубки для уникального сооружения было осуществлено в СССР впервые, с целью ускорения темпов строительства и повышения качества, учитывая, что при переставной опалубке для сооружения высотой 330 метров, соответственно, будет 330 рабочих швов, в которых бетон более проницаем, а вся конструкция – немонолитная. Однако торопливость высшего начальства (П. С. Непорожний) и категорическое требование начать строительство 12 апреля 1978 г. без запаса строительных материалов необходимого качества могло привести к аварии. Вследствие этого автор статьи был вынужден завысить марку проектируемого бетона. Кроме того, строительное управление ССМУ Энерговвысотспецстрой не смогло наладить непрерывный и постоянный геодезический контроль приборами PZL. По этой причине при темпах подъёма опалубки 3–4 метра в сутки возникли отклонения от вертикали до 600 мм. Контрольная проверка ультразвуковыми приборами показала, что фактическая прочность бетона выше проектной (М450–М500), и только поэтому проектировщики согласовали окончательную высоту трубы № 1 = 300 метров. То есть именно завышение проектной марки бетона автором спасло дымовую трубу № 1 ЭкГРЭС № 1 в 1979 году.

Для защиты от высыхания твердеющий бетон после выхода из-под опалубки немедленно покрывали раствором водорастворимого дешёвого полимера КМЦ, который надёжно защищал

бетон и обеспечивал полную гидратацию цемента до набора проектной прочности бетоном. Испытания на прочность при сжатии контрольных образцов бетона, хранившихся в условиях конструкции, подтвердили проектные марки бетона инженерных сооружений.

Процент введения в бетонные смеси ПАВ в течение суток варьировался. Дозировка ПАВ изменялась строительной лабораторией 3–4 раза в течение суток в зависимости от изменения температуры воздуха, что обеспечило постоянное качество и подвижность бетонной смеси при укладке в опалубку с учётом потерь во времени.

Эффективно также применялись теплозащитные покрытия от солнечной радиации для выравнивания температуры по всему сечению сооружения.

Необходимо отметить и материальное стимулирование рабочих при возведении этих уникальных сооружений: все рабочие-высотники в период строительства были обеспечены жильём, к зарплатам (основному тарифу) прибавляли высотные надбавки, командировочные (вахтовый метод!), коэффициент 1,3 за трудные условия. В результате средняя зарплата рабочего в месяц достигала 2 000 рублей (при зарплате среднего инженера 150 руб./месяц), и по этой причине от желающих не было отбоя.

Экибастузские ГРЭС № 1 и 2 непрерывно работают в течение 40 лет, вырабатывая электрическую энергию для всего Казахстана, что доказывает высокую долговечность бетона и надёжность возведённых советскими строителями дымовых труб. При этом имеются дополнительные мощности, так как электростанции работают не в полную нагрузку, соответственно, при необходимости для новых потребителей электроэнергии в Казахстане или за пределами страны можно увеличить производство электроэнергии, подключив резервные котлоагрегаты.

Опыт летнего строительства в Казахстане при критических климатических параметрах (температуре +55 °С и относительной влажности воздуха 25–30 %) указывает на необходимость строгого выполнения всех требований по подготовке, приготовлению бетонной смеси и уходу за твердеющим бетоном, геодезическому контролю, что обеспечивает в конечном итоге надёжность и высокую долговечность сооружений.

В результате применения простейших и надёжных отечественных технологий бетона и строи-

тельных материалов был получен огромный экономический эффект. Причём следует учесть, что возведённые советскими инженерами высотные железобетонные инженерные сооружения, включая Останкинскую царь-башню, никогда не красили (исключение – маркировочная сигнальная покраска для самолётов), а все небоскрёбы в мире защищены нержавеющей сталью, стеклом и силиконом, а старые металлоконструкции, например, Эйфелеву башню, периодически красят каждые 7–9 лет.

Заключение

1. Опыт возведения самых высоких в Азии железобетонных сооружений на Экибастузской ГРЭС №1 в 1977–1980 годах и самой высокой в мире дымовой трубы на Экибастузской ГРЭС №2 в 1986 г., инструкции и документы, разработанные советскими учёными и инженерами, были в том или ином

виде успешно применены в XXI веке при строительстве высотных зданий-небоскрёбов (рис. 5).

2. В 1950–1980-е годы советские строители, энергетики, монтажники успешно проектировали и возводили многочисленные железобетонные сооружения во многих странах мира (Бхилайский металлургический завод в Индии, Асуанскую плотину в Египте, АЭС и химический комбинат на Кубе, ТЭЦ «Исфаган» в Иране, ГЭС «Хоабинь» во Вьетнаме, созданные в Китае восемь сотен заводов и комбинатов, плотины в Аргентине, в Боливии и многие-многие другие), построенные в особых условиях жаркого климата. При этом использование разработанных отечественными строителями технологических приемов неизменно обеспечивали высокие темпы и качество строительства.
3. Чтобы уверенно направляться в будущее, надо хорошо знать своё прошлое.

Литература

1. Тринкер, Б. Д. Применение пластифицированного цемента и пластифицирующих добавок к бетону [Текст] / Б. Д. Тринкер ; Министерство строительства предприятий машиностроения СССР. Техн. упр. Науч.-исслед. ин-т по строительству. – Москва ; Ленинград : Гос. изд-во лит. по стр-ву и архитектуре, 1952. – 60 с.
2. Руководство по проектированию и подбору состава гидротехнического и обычного бетона [Текст] / М-во строительства РСФСР. Техн. упр. Науч.-исслед. ин-т по строительству. – Москва : Отд. техн. информации, 1957. – 52 с.
3. Тринкер, А. Б. Опыт производства бетонных работ при возведении специальных высотных сооружений в условиях сухого и жаркого климата [Текст] / А. Б. Тринкер // Специальные строительные работы. 1979. № 11. С. 3–9.
4. Тринкер, А. Б. Единая система скоростного бетонирования высотных сооружений [Текст] / А. Б. Тринкер // Бетон и железобетон. 1983. № 12. С. 20–21.
5. CTL Group. Burj Khalifa, the Tallest Building in the World. Last modified 2011. Accessed Nov. 15, 2011.

References

1. Trinker, B. D. The application of the plasticized cement and the plasticizing additives to concrete. Ministry of construction of machine-building enterprises of the USSR. Techn. management. Scientific-research. in-t for construction. Moscow; Leningrad: State Publishing house of literature on construction and architecture, 1952. 60 p.
2. Guidelines for the design and selection of the composition of hydraulic and conventional concrete. Ministry of construction of the RSFSR. Technical management. Research Institute for construction Moscow: Technical information Department, 1957. 52 p.
3. Trinker, A. B. Experience in the production of concrete works in the construction of special high-rise buildings in dry and hot climates. In: *Special construction works*, 1979, No. 11, pp. 3–9.
4. Trinker, A. B. Single system of high-speed concreting of high-rise buildings. In: *Concrete and reinforced concrete*, 1983, No. 12, pp. 20–21. (in Russian)
5. CTL Group. Burj Khalifa, the Tallest Building in the World. Mode of access: <http://www.ctlgroup.com/projects/burj-khalifa-tallest-building-world/>.

Тринкер Александр Борисович – доктор технических наук, Regeneration Technology Centre & Consulting Development Innovation. Научные интересы: технология строительства, защита от коррозии, сверхпрочный и сверхдолговечный бетон, композиты, нанотехнологии.

Трінкер Олександр Борисович – доктор технічних наук, Regeneration Technology Centre & Consulting Development Innovation. Наукові інтереси: технологія будівництва, захист від корозії, надміцний і понаддовговічний бетон, композити, нанотехнології.

Trinker Alexander – D.Sc. (Engineering), Regeneration Technology Centre & Consulting Development Innovation. Scientific interests: the technology of construction is sewn up from corrosion, super-strong and super-durable concrete, composite, nanotechnologies.