

БЕТОН В АРХИТЕКТУРЕ: ТЕХНОЛОГИИ ПРОШЛОГО И БУДУЩЕГО

Маркова К.И., Новикова М.В.,

Научный руководитель канд. архит. Блянкинштейн О.Н.

Сибирский Федеральный университет

Прошло более 2000 лет с тех пор, как появился римский бетон, а построенные из него отдельные здания и сооружения стоят и поныне. При этом некоторые из них постоянно находятся в соленой морской воде, другие, как, например, Пантеон в Риме, пережили несколько крупных землетрясений. Не менее интересными в этом отношении являются гидротехнические сооружения, римские бетонные дороги, многослойные полы, своды и купола.

Об архитектуре и строительных технологиях Древнего Рима написаны сотни статей и книг. И это не удивительно, так как мало государств, которые бы оставили в истории мировой цивилизации такой яркий след и завещали бы потомкам такое огромное культурное наследие. Значение его как великой сокровищницы знаний, двигающей человечество вперед, поистине огромно.

Неудивительно, что и современные архитекторы все чаще обращаются к Древнему Риму, при этом не только к истории культуры, архитектуры, права и военного дела, но и к истории его техники, в частности — технике и технологии строительного производства, где большое внимание отводилось строительству из бетона.

Бетон мог развиваться и получить широкое распространение лишь в таком сильном и огромном государстве, каким был Древний Рим с его большими объемами строительных работ, включая сооружение многочисленных амфитеатров, стадионов, терм, мощных крепостных стен или знаменитых римских дорог, протянувшихся на тысячу километров по всей стране и за ее пределами. Появление римского бетона отражало растущие потребности и технические возможности античного общества.

В результате завоевательной политики Древнего Рима, обогащения его за счет войн развивается строительство крупных инженерных сооружений, роскошных особняков, дворцов, храмов, жилых и общественных зданий. В свою очередь, это потребовало нового прочного, долговечного и относительно дешевого материала, каким и явился бетон. Однако для осуществления больших строительных проектов из бетона одного золота и рабов было недостаточно. Требовалась налаженная организация труда, инженерные знания и строительная техника.

Долговечность римского бетона поразительна. Можно лишь удивляться, глядя на отдельные древнеримские здания и сооружения, простоявшие почти 2000 лет. Даже их развалины поражают наше воображение. Сегодня мы имеем более прочные цементы для бетона, чем слабые известковые вяжущие вещества римлян, и все-таки у нас нет полной уверенности, что современные бетонные и железобетонные сооружения выдержат без разрушения хотя бы 100 лет эксплуатации. Почему же стоят бетонные сооружения римлян? Вероятно, они овладели какими-то секретами.

Для того, чтобы каменный скелет превратился в монолитный искусственный камень, нужен прочный и желательнее дешевый клей. В качестве такого клея, а точнее — его основного компонента, римляне использовали воздушную известь, хотя были случаи применения гидравлической извести и вяжущего типа роман - цемента.

Основное внимание при производстве извести римляне уделяли выбору сырья. Катон, государственный деятель Древнего Рима и писатель, рекомендовал для этого белый, наиболее чистый, не содержащий глиняные примеси, известняк. Его обжигали

при температуре порядка 900° С. При этом окончание процесса обжига определяли по уменьшению количества дыма и пламени.

Для изготовления кладочных растворов обожженную и измельченную в небольшие куски воздушную известь гасили водой. Для этого известь погружали в воду и затем рассыпали на воздухе или укладывали её слоями, которые затем опрыскивали водой и покрывали слоем песка для сохранения выделяемого тепла, способствующего гашению. Для штукатурных работ известь затворяли избыточным количеством воды задолго до употребления и выдерживали в ямах до полного гашения. Образующееся тесто тщательно секли острыми металлическими секирами и перемешивали до равномерно жирной и «липкой» консистенции. Витрувий справедливо считал, что без этого кусочки недожженной извести не успевают погаситься до начала работ и будут продолжать гаситься в штукатурке, образуя дуги, которые приведут к поверхностным разрывам и трещинам. Для наиболее ответственных работ и приготовления специальных замазок (мальт) известь гасили не водой, а вином, перетирая со свиным салом и смоквой. Римские законы не разрешали применять известь, гашенную менее чем за три месяца до начала строительства. У древних строителей существовали специальные правительственные постановления, запрещающие употребление гашеной извести раньше истечения нескольких лет со дня затворения водой.

К XIX в. время гашения извести намного сократилось, но многие строители придерживаются старых правил, считая законы древних строителей непогрешимыми.

Несомненно, что, начав работать с бетоном, римляне не могли не обратить внимания на качество заполнителей. Так, для удобства их применения уже с середины I в. до н. э. вводится классификация заполнителей по виду породы, загрязненности, а также в зависимости от назначения будущего бетонного сооружения. Об этом свидетельствуют работы археологов и древних авторов, так, по виду и условиям залегания пески подразделялись, как и теперь, на речные, морские и горные (овражные), или как их называли прежде — котлованные. При этом существовало дополнительное разделение каждого вида песка по окраске и загрязненности.

Витрувий в кн. II, гл. 4 писал о том, что «...Есть следующие сорта горного песка: черный, серый, красный и карбункул (песок вулканического происхождения). Из них наилучшим будет тот, который скрипит при растирании в руке». В большинстве случаев он советовал применять чистые «без примеси земли» пески. Так, для кладки стен и сводов Витрувий рекомендовал только мытый песок, а для штукатурных работ — очищенный речной. Морской песок, по его мнению, в большинстве случаев нежелателен, так как содержит примеси солей, которые ведут к выцветанию стен. При этом, как пишет Витрувий, наличие в песке соли, обладающей гигроскопическими свойствами, затрудняет высыхание раствора, задерживая тем самым сроки строительства. Такое утверждение не противоречит современным техническим условиям на мелкий заполнитель. Есть сведения, что заполнители для бетона (особенно пуццолановые) обязательно промывались.

Интересны указания римлян по заготовке бутовых камней и щебня для бетона. «Надо добывать камень не зимою, а летом,— пишет Витрувий (кн. II, гл. 4). Методы определения чистоты заполнителей были весьма простыми, а требования к ним более жесткими. «...Если насыпать песок на белое полотенце и затем потрясти или подбросить его и он не оставит пятен и землистого осадка, то будет годен...» (Витрувий, кн. II, гл. 4). Особое значение для бетона имеет зерновой (гранулометрический) состав его заполнителей. Песок и щебень или гравий должны состоять из зерен различной вели-

чины, тогда объем пустот в них будет минимальным, а чем меньше объем пустот в заполнителе, тем меньше требуется вяжущего вещества для получения плотного бетона. О том, что римляне придавали большое значение зерновому составу заполнителей, говорят результаты испытания их сооружений, выполненных в наше время.

К началу 1 в. римскими строителями было установлено, что заполнитель оказывает вполне определенное влияние на свойства бетона. Этот вывод подтверждается многочисленными примерами. Так, при строительстве Колизея в бетоне был применен заполнитель трех видов: для фундаментов — плотный и тяжелый щебень из высокопрочной лавы, для стен — более легкий известняк, а в сводах и перекрытиях — легкая пемза и туф.

Бетон в то время приготавливали в основном отдельным способом, т. е. отдельно в специальных емкостях замешивали известковый раствор и укладывали его слоями в опалубку, чередуя со слоями крупного заполнителя.

Римляне употребляли самые различные виды каменной опалубки-облицовки: неправильную (инцерт), правильную из камней (ретикулат), правильную из кирпича (тестациум) и смешанную (микстум), т. е. с использованием камней и кирпичей. Вяжущее вещество и заполнители принимались в зависимости от назначения работ в соотношениях, а количество воды подбиралось «на глаз». При этом важно подчеркнуть, что римляне были хорошо осведомлены о том, что избыток воды в смеси всегда нежелателен, на что указывал, в частности, Плиний. Воду поэтому, скорее всего, заливали в смесь не всю сразу, а постепенно, доводя раствор до требуемой консистенции.

Римляне, изготавливая водонепроницаемые сооружения, не стремились получить при этом прочный бетон. Основываясь на многочисленных описаниях римских сооружений и результатах испытаний, можно предположить, что римские бетоны в зависимости от вида применяемого вяжущего и заполнителя имели среднюю плотность от 700 до 2200 кг/м³, водо-поглощение 5—20% и пористость порядка 20—40%. Несмотря на такие большие диапазоны значений физико-механических показателей испытанных образцов, большинство римских бетонных сооружений оказались долговечными. Это подтверждает вывод отдельных исследователей о том, что ни прочность, ни пористость бетона не могут служить основным критерием при определении его долговечности. Вероятно, значения этих показателей наиболее важны в течение первых лет работы конструкции.

Кроме того, для каждого типа конструкции римляне тщательно определяли вид бетона и неукоснительно соблюдали все технические условия. Как известно, они разработали значительное количество стандартов и строго им следовали.

Сегодня трудно оценить и проанализировать составы римского бетона только по соотношению их компонентов при большом количестве неизвестных, тем более, что данные относительно действительного состава бетона и его структурных характеристик у многих исследователей вызывают сомнения. Можно лишь утверждать, что хорошее современное состояние отдельных бетонных сооружений Древнего Рима свидетельствует о превосходном качестве применяемого исходного материала, рационально подобранном составе бетона и надлежащем качестве строительных работ.

Современный английский исследователь в области строительных материалов Ф. Финкелдей после детального обследования отдельных частей римского бетонного акведука также пришел к выводу, что у римлян не было никаких особых секретов изготовления бетонных сооружений. По его мнению, долговечность достигалась применением известково-пуццоланового вяжущего и рационально подобранного соотношения вяжущего и заполнителя. При этом римляне использовали умеренное количество воды

в бетонной смеси. Ф. Финкелдей был настолько поражен долговечностью и прочностью римских бетонных сооружений, что настойчиво призывал вернуться к их старым технологическим методам, используя аналогичный цемент и заполнители.

Вы до сих пор считаете, что бетон – это «серая скука»?

Разнообразие сортов бетона ныне таково, что их разработку, получение, изучение и совершенствование в пору величать самостоятельной наукой. И хотя бетон сам по себе известен людям шесть тысяч лет, а так называемый современный (на основе цемента) — с середины XIX века, до сих пор в этой науке остаётся много белых пятен.

Детальное изучение частиц бетона на наноуровне провели Франц-Йозеф Ульм (Franz-Josef Ulm) из Массачусетского технологического института и Матьё Вандамм (Matthieu Vandamme) из университета Парижа (Université Paris-Est) [].

Ульм и Вандамм при помощи ряда опытов и математических моделей показали, что замедление ползучести влияет на долговечность изделия экспоненциально, и что при помощи наноразмерных добавок ползучесть готового бетона под нагрузкой, при тех же самых внешних условиях, можно снизить ещё в 2,6 раза против лучших образцов. А это может иметь драматические последствия для отрасли и в целом человечества.

Скажем, саркофаги для ядерных отходов, сделанные из обычного бетона, могут простоять без существенных повреждений лет 100, а из ультравысокоплотного, приготовленного с учётом новых знаний, — все 16 тысяч лет, утверждают учёные.

Какой нам прок от такого сверхдолговечного бетона? Из него можно было бы делать плотины, мосты и каналы, не теряющие «товарный вид», то есть не требующие ремонта или полной переделки буквально столетиями.

Уже только это могло бы сократить воздействие промышленности на окружающую среду, ведь огромное число сооружений, не требующих замены через 30, 40 или 60 лет, как раньше, означает сокращение потребности в бетоне. А его сейчас на Земле производят в количестве 20 миллиардов тонн в год, и имеется 5-процентный ежегодный рост выпуска.

Несмотря на всю уникальность и долговечность Римского бетона, современные ученые стремятся создать более прочный и долговечный бетон, основанный на нанотехнологиях, способный «посрамить» великие сооружения Древних римлян в области долговечности. Ведь бетон по праву занимает одно из ведущих мест среди остальных строительных материалов.

Список использованных источников:

1 Кочетов В. А. Римский бетон: Научно-популярная библиотека школьника. - М.: Строй-издат., 1991.—111 с.

2 Власов В.Г. Новый энциклопедический словарь изобразительного искусства: В 10 т. — СПб.: Азбука-классика, 2004. — 576 с.

3 Николаев И.С. Строительные материалы, строительная техника, конструкции: Всеобщая история архитектуры в 12 томах; том 2. – М.: Издательство по строительству, 1973. – С 490-492

4 Попов Л. Бетон нового века украсит собой тысячелетия // Мембрана [сайт] URL: <http://www.membrana.ru/particle/1961> (дата 19.06.2009).