

УДК 666.972

СОСТАВЫ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ЕГО ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКЕ

COMPOSITIONS OF HEAVY CONCRETE AND ENERGY-SAVINGS AT HIS WARMLY MOISTURE TREATMENT

Бибик М.С., канд. техн. наук, директор (ОАО «Завод СЖБ № 1»), **Голшани М.**, аспирант, **Бабицкий В.В.**, д-р техн. наук, профессор (Белорусский национальный технический университет), **Семенюк С.Д.**, д-р техн. наук, зав. кафедрой (Белорусско-Российский университет) Республика Беларусь

Bibik M.S., candidate of engineering sciences, director, (an open corporation is «Factory of collapsible of reinforce concrete №1»), **Golschani M. PhD**, **Babickiy V.V.**, doctor of technical sciences, professor (Belarusian national technical university), **Semenyuk S.D.**, doctor of technical sciences, professor (Belarusian-Russian University, Mogilev, the Republic of Belarus)

Представлена блок-схема многофакторного расчета составов тяжелого бетона с учетом требований к нему по прочности, долговечности и защитным свойствам по отношению к стальной арматуре. Дана последовательность расчетов энергосберегающих режимов тепловлажностной обработки бетонных и железобетонных конструкций. Разработан программный продукт для осуществления расчетов. Предложена схема дешевой эффективной модернизации действующих тепловых агрегатов.

Is a block diagram of multifactor for calculating compositions of heavy concrete with the requirements for strength, durability and protective properties to the steel reinforcement. Given a sequence of calculations of the energy-saving modes of curing of concrete and reinforced concrete structures. A software product for making payments. The scheme of low-cost effective modernisation of operating thermic assembly units is offered.

Тепловлажностная обработка бетонных и железобетонных изделий – важнейший технологический передел в производстве сборного железобетона, а частично – и элемент монолитного строительства. Именно на этой стадии твердения бетона формируются его структурные особенности, определяющие физико-механические характеристики, водонепроницаемость, морозо- и коррозионную стойкость, а также долговечность железобетона. При этом тепловая обработка характеризуется и значительной энергоемкостью. В свете

этого, что, впрочем, общеизвестно, грамотное назначение (или расчет) режима тепловой обработки представляется важнейшей задачей инженера-технолога.

Факторов, определяющих особенности режима тепловой обработки, множество [1,2], поэтому решение этой задачи весьма сложно, тем более, что рекомендаций в этой области бетоноведения не так и много. Основной технологический фактор, влияющий на грамотный режим тепловлажностной обработки бетонных и железобетонных изделий – это проектирование состава бетона. Оптимальное проектирование состава бетона не требует значительных капитальных вложений, но дает как повышение качества изделий, так и снижение материальных затрат [3,4,5].

Основной принцип расчета состава бетона в методах, используемые в технологии бетона и железобетона, заключается в нахождении соотношения вяжущего, заполнителей, воды и химических добавок, обеспечивающих проектную прочность бетона. Круг используемых методик весьма обширен [6], но особой популярностью у инженеров-технологов пользуется (особенно в России) метод абсолютных объемов, поскольку у него есть бесспорное достоинство – простота. В то же время для данной методики характерен и недостаток: недостаточен учет многообразных свойств заполнителей и влияния химических добавок, отсутствуют формулы для расчета таких важнейших характеристик бетона, как морозостойкость и водонепроницаемость. При этом нельзя забывать и о долговечности железобетонных конструкций, основа которой также закладывается на стадии проектирования состава бетона.

В принципе, может быть два основных направления реализации модели проектирования состава бетона. Осуществляя подбор по первому направлению, следует решить систему уравнений, представляющих собой функции каких-либо характеристик (например, прочности) от какого-то основного (или нескольких) влияющего фактора (например, водоцементного отношения). Этот путь рационален и широко практикуется при ручных расчетах, причем не только при ограниченном числе влияющих факторов и выходных параметров, но и при реализации весьма сложных моделей.

Но при наличии вычислительной техники целесообразнее второе направление, ориентированное не на получение сразу (в результате решения системы уравнения) конкретного решения, а на последовательное приближение к оптимуму. При этом какой-либо влияющий фактор (или несколько факторов) изменяется постепенно (посредством незначительных приращений), что вызывает и изменение соответствующих выходных параметров: удобоукладываемости бетонной смеси, прочности бетона, его морозостойкости и т.д. И оптимальным составом будет тот, который обеспечивает значения всех расчетных выходных характеристик выше проектных. Ранее такой принцип расчета многофакторной модели был представлен в [7] и показал свою действенность. Дальнейшее развитие этой

системы расчетов, включающей и прогнозирование долговечности железобетонных конструкций, представлено нами на рис. 1.

Она позволяет рассчитывать состав бетона не только исходя из класса бетона по прочности на сжатие, но и с учетом требований по морозостойкости, водонепроницаемости и долговечности. Это реализуется посредством использования комплекса технологических приемов: целенаправленным изменением свойств компонентов бетонной смеси, варьированием водоцементного соотношением, грамотным выбором вида и дозировки химических добавок (пластифицирующих, ускорителей твердения, воздухововлекающих, ингибиторов коррозии стали). Не менее важным представляется переход от запроектированного в лабораторных условиях состава к производственному. Для этого случая производится учет объема замеса, влажности заполнителей, рабочих концентраций химических добавок. Кроме того, имеется функция оценки стоимости замеса, что позволяет оптимизировать состав не только по техническим характеристикам, но и по финансовым затратам.

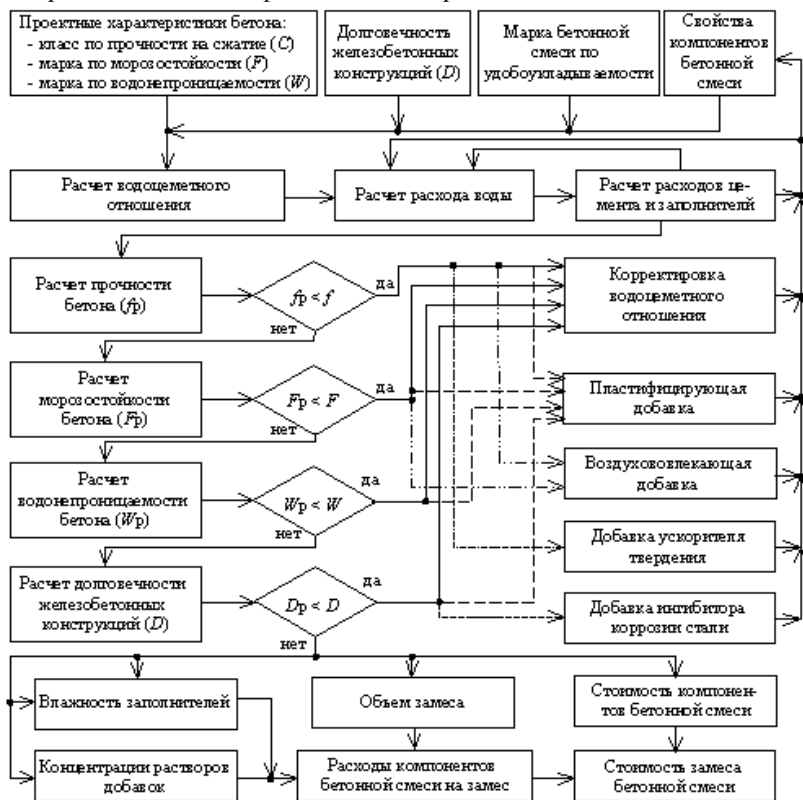


Рис. 1. Блок-схема многофакторного расчета состава тяжелого бетона

Подобрав оптимальный по стоимости состав бетона, можно переходить к следующему технологическому переделу, а именно проектированию режима тепловлажностной обработки изделий.

Значение тепловлажностной обработки бетона в технологической цепочке получения бетонных и железобетонных изделий общеизвестно и отражено в многочисленных, в том числе и учебных, литературных источниках. Особенности режима тепловой обработки бетона определяют не только его прочность, водонепроницаемость, морозостойкость, коррозионную стойкость, но и, что особенно важно, себестоимость продукции. Следует отметить, что правильное назначение режима может быть реализовано лишь с учетом многочисленных влияющих факторов, отраженных, например, в [1,2]. В принципе, идея сочетать состав бетона с режимом тепловлажностной обработки бетонных и железобетонных изделий не нова [8]. Но в нашем случае она находит развитие на принципах, несколько отличных от [8].

На предприятиях по производству сборного железобетона (а также в организациях, осуществляющих монолитное строительство) режимы тепловой обработки изделий в целом отработаны, оптимизированы после многочисленных проб и ошибок, причем обычно применительно к какому-то определенному поставщику цемента, постоянно применяемым химическим добавкам и пр. Однако использование, например, какой-либо новой химической добавки ставит инженера-технолога перед необходимостью проводить большой объем работы, примерно назначая по имеющимся разнообразным таблицам, графикам, собственным данным варианты режимов тепловой обработки бетона с их последующей экспериментальной проверкой. Целесообразнее режим тепловлажностной обработки не получать в результате экспериментальной переборки вариантов, а проектировать, для чего, естественно, необходимы соответствующие инструменты.

Режимы тепловой обработки бетона могут быть самыми разнообразными [9]. Назначение любого режима – получить заданную прочность в кратчайшие сроки при минимальной стоимости и высоком качестве продукции. Наиболее распространенным является трапецеидальный режим и именно для его назначения разработаны разнообразные рекомендации, учитывающие проектную прочность бетона, толщину изделия, эффективность цемента при пропаривании и пр. Такой режим наиболее доступен для автоматизации процессов. Однако он имеет существенные недостатки. Так, например, скорость подъема температуры имеет постоянную величину, что не отвечает нарастающему характеру структурообразования бетона. В связи с этим был разработан улучшенный трапецеидальный режим. Подача теплоносителя идет с нарастающей скоростью, по мере интенсификации структурообразования бетона и снижения риска образования дефектов в изделии. Одноступенчатый и многоступенчатый режимы также направлены на сглаживание деформаций

бетона в процессе нарастания температуры. Пилообразный и пульсирующий режимы нацелены на экономию теплоты в процессе изотермической выдержки, хотя подходы к практической реализации таких режимов и вызывают сомнения у технологов. К лучшему режиму может быть отнесен криволинейный, очертания которого полностью соответствуют кинетике нарастания прочности бетона в процессе твердения. И, наконец, рассмотрим особенности так называемого треугольного режима. Он относится к ярко выраженным энергосберегающим. Теплота идет только на нагрев самого изделия с формой и ограждающих конструкций теплового агрегата. В дальнейшем приход теплоты обусловлен только экзотермическими реакциями цемента в процессе его гидратации. Налицо выигрыш в расходе теплоты, но и проигрыш во времени получения заданных характеристик бетона изделия.

Рассмотрим более подробно параметры термосного режима тепловлажностной обработки бетона (рис. 2) на примере камеры без теплоизоляции (показатель длительности остывания камеры $A1$) и с теплоизоляцией ($A2$).

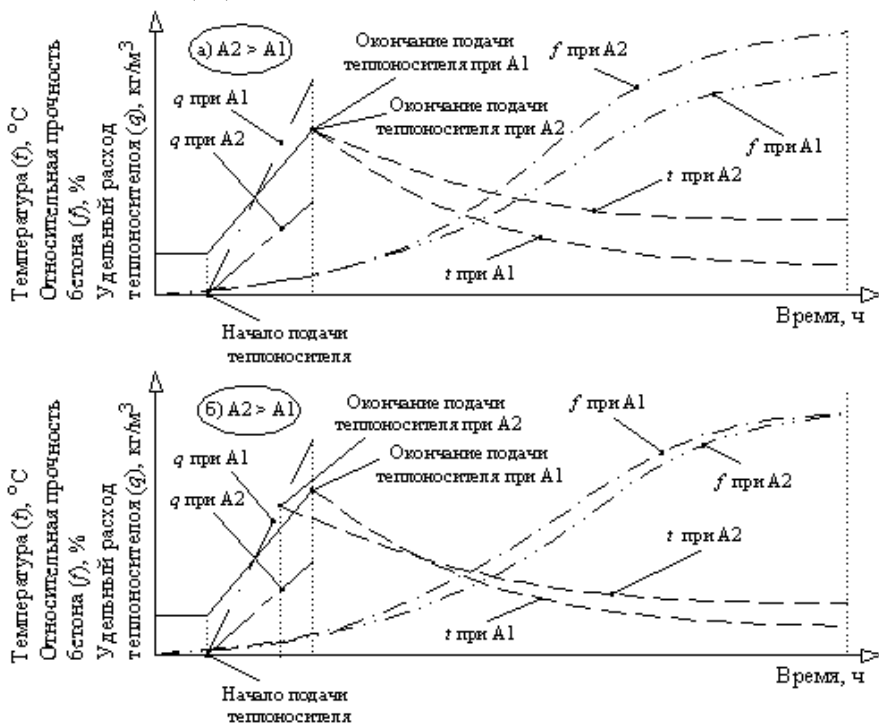


Рис. 2. Параметры термосного режима тепловлажностной обработки тяжелого бетон

Показатель длительности остывания камеры характеризует время спада температуры в данной камере от максимального значения до температуры окружающей среды. Время предварительной выдержки ($\tau_{пв}$), подъема температуры ($\tau_{пт}$) и термосной выдержки ($\tau_{тв}$) одинаково для обоих вариантов. Температуры среды в камере на стадии подъема температуры также идентичны. Однако в связи со сравнительно большими потерями теплоты через ограждающие конструкции камеры (A1) в первом случае (рис. 2а) удельный расход теплоносителя (например, пара) будет существенно выше, чем во втором (A2). Потери теплоты, а, следовательно, расход теплоносителя на этой стадии определяются не только теплотехническими характеристиками камеры, но внешними, например, температурой окружающего воздуха, скоростью ветра. Затем подача теплоносителя прекращается и начинается стадия термосной выдержки. Естественно, скорость остывания в камере без теплоизоляции выше, чем с теплоизоляцией. Соответственно, во втором случае складываются более благоприятная ситуация для твердения бетона и конечная прочность бетона больше. Для компенсации недобора прочности в первом случае (A1) температура разогрева должна быть увеличена (рис.2б). Прочность бетона на стадии разогрева несколько больше, чем для второго случая (A2). В последующем темп твердения для (A1) падает, но к концу тепловой обработки для обоих вариантов прочность бетона достигает заданного значения. Естественно, эффект достигнут посредством большего расхода тепловых ресурсов. Для компенсации недостатков камеры без теплоизоляции может быть увеличена проектная прочность бетона (изменением расхода цемента, введением химических добавок и иными технологическими приемами) и, соответственно, относительная и абсолютная после тепловой обработки. Кроме того, может быть назначена более длительная термосная выдержка изделий. Затем производится анализ вариантов и выбирается тот, который дешевле.

В основе предлагаемой методики проектирования энергосберегающего режима тепловлажностной обработки бетона (рис. 3) лежит представление о том, что его свойства, формирующиеся в процессе твердения, определяются кинетикой изменения степени гидратации цемента, которая зависит от следующих основных факторов [10]:

- минералогический состав, тонкость помола и активность цемента;
- водоцементное отношение бетонной смеси;
- температурно-влажностные условия и время твердения;
- вид и дозировка химических добавок;
- особенности технологии производства изделий.

А это, в свою очередь, открывает возможность отслеживать кинетику тепловыделения цемента, изменения температуры в камере и бетоне на стадии термосной выдержки и, что весьма важно, физико-механические характеристики бетона.

Основная особенность расчета в данном случае заключается в получении математической модели, взаимно увязывающей технологическую (кинетика изменения характеристик бетона) и теплотехническую (конструкция теплового агрегата, текущая температура среды в пропарочной камере и в цехе) стороны процесса. Необходимость такой увязки несомненна, в литературе она трактуется, но на практике реализуется недостаточно, в основном по причине отсутствия формул, позволяющих связать многочисленные влияющие факторы в единый комплекс. В связи с этим нами были проведены исследования, позволившие получить аналитические зависимости, связывающие изменение степени гидратации цемента во времени с его тепловыделением, особенностями структуры бетона, его прочностью, морозостойкостью, водонепроницаемостью, защитными свойствами по отношению к стальной арматуре.

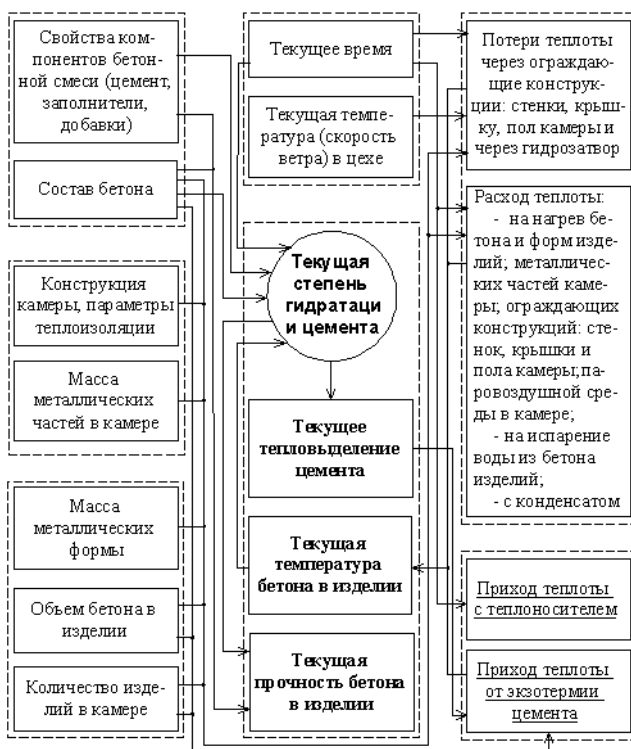


Рис. 3. Блок-схема расчета энергосберегающих режимов тепловлажностной обработки бетона

Для реализации алгоритма, представленного на рис. 3, понадобилось сведение в единую математическую модель несколько сотен формул. Критерий взаимно увязанного проектирования состава бетона и режима его твердения – минимальная стоимость бетонной смеси и израсходованного теплоносителя при обеспечении всех проектных характеристик материала.

Для облегчения и повышения точности расчетов разработан программный продукт, основные окна которого представлены на рис. 4.

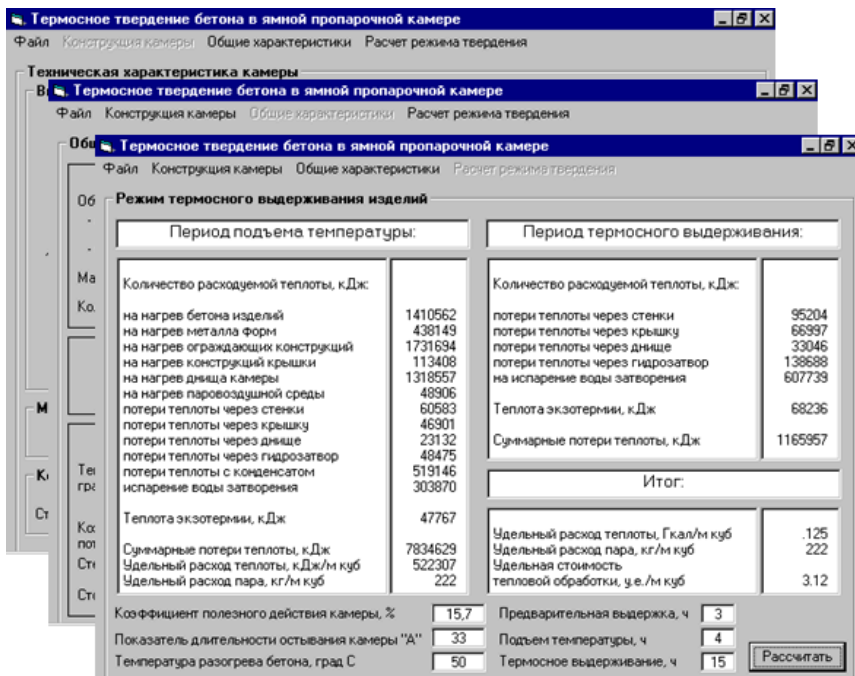


Рис. 4. Окна компьютерной программы для расчета энергосберегающих режимов тепловлажностной обработки тяжелого бетона

В ОАО «Завод СЖБ № 1» Республики Беларусь достаточно смело реализуются новые веяния в технологии бетона. Здесь не только отрабатываются энергосберегающие режимы тепловлажностной обработки бетонных и железобетонных изделий, но и иные направления: дробление на месте железобетонных конструкций с последующим вторичным использованием стальной арматуры и крупного заполнителя, помол растворной части бетона с использованием продукта в качестве минеральной добавки в бетонные смеси, производство пустотных мелкоштучных блоков из арболита при утилизации собственных отходов деревообработки и др. При

этом все направления реализуются комплексно. В частности, мелкоштучные блоки, кроме своего прямого предназначения, были использованы для совершенствования существующих ямных пропарочных камер. Часть пропарочных камер на заводе реконструирована (рис. 5) посредством утепления наружных ограждающих конструкций, традиционно выполненных из тяжелого бетона. Это реализовывалось посредством кладки пустотелых блоков из арболита на всю высоту ямных пропарочных камер. Перегородки изолировались блочным пеностеклом. Во избежание намокания полученного термоизоляционного слоя вследствие контакта с паром и водой и повышения вследствие чего коэффициента теплопроводности, кладка зашивалась металлическими листами.

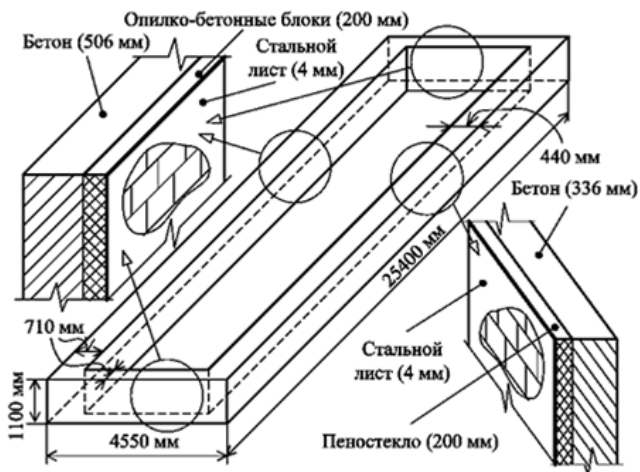


Рис. 5. Конструкция камеры для тепловлажностной обработки бетонных и железобетонных конструкций

Казалось бы, что может дать такая примитивная (на первый взгляд) термоизоляция в сравнении с широко рекламируемыми современными материалами. Как показали эксперименты, реконструированные камеры хорошо удерживают накопленную энергию и позволяют полностью отказаться от стадии изотермической выдержки изделий, то есть полноценно реализовать энергосберегающие режимы тепловлажностной обработки бетона. Прикидочные расчеты свидетельствуют, что даже при такой теплоизоляции годовой экономический эффект от модернизации одной камеры может составить до \$1500 при стоимости 1 Гкал пара около \$25. И затраты на дополнительную тепловую изоляцию камеры окупаются уже за один-два года ее эксплуатации.

В настоящее время компьютерная программа проходит апробацию на ОАО «Завод СЖБ № 1» Республики Беларусь при расчетах термосных режимов тепловой обработки железобетонных изделий в ямных пропарочных камерах как в цехах, так и в полигонных условиях.

Выводы. 1. Разработана модель многофакторного проектирования состава тяжелого бетона, учитывающего особенности компонентов бетонной смеси, в том числе разнообразных химических добавок, проектные характеристики бетона и его защитные свойства по отношению к стальной арматуре железобетонных конструкций. 2. Предложена схема многофакторного проектирования энергосберегающих режимов тепловой обработки бетона, основывающаяся на расчете степени гидратации цемента, определяющей, в свою очередь, кинетику тепловыделения цемента и конечные физико-механические характеристики бетона. 3. Разработана компьютерная программа для расчета основных параметров тепловлажностной обработки бетона по энергосберегающим термосным режимам, включая и стоимость. Программа проходит апробацию при расчетах режимов твердения бетонных и железобетонных изделий в ямных пропарочных камерах. 4. Реализована система совершенствования ямных пропарочных камер посредством внутренней тепловой изоляции мелкоштучными блоками из арболита, позволяющая за один-два года окупить затраты на их модернизацию.

1. Миронов С.А., Френкель И.М., Малинина Л.А. и др. Рост прочности бетона при пропаривании и последующем твердении. – М.: Стройиздат, 1973. – 96 с. 2. Малинина Л.А. Тепловлажностная обработка тяжелого бетона. – М.: Стройиздат, 1977. – 160 с. 3. Дворкин Л.И. Многофакторное прогнозирование свойств бетона и анализ эффективности их обеспечения. Автореф. дис. ...д-ра техн. наук: 05.23.05 / Моск. инж.-строит. ин-т им. В.В. Куйбышева. – М., 1983. – 45 с. 4. М.Ш. Шлаен. Концепция оптимального проектирования бетона // Бетон и железобетон.–1992.–№ 1.– С. 15-16. 5. Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. Многопараметрические задачи проектирования составов бетона // Бетон и железобетон.–2002.–№ 2.– С. 6-9. 6. Баженов Ю.М. Способы определения состава бетона различных видов. Учеб. пособие для вузов. – М.: Стройиздат, 1975. – 268 с. 7. Бабицкий В.В., Ковалев Я.Н. Многофакторное проектирование состава бетона // Материалы, технологии, инструменты. – 2005. – №1. – с. 67-71. 8. Л.И.Дворкин, Ю.В.Гарницкий. Проектирование состава бетона при термосном выдерживании конструкции. // Бетон и железобетон.–2000.–№ 6.– С. 6-8. 9. Совалов И.Г., Якобсон Я.М., Розенбойм Л.С., Лалакина Т.А. Повышение качества сборного железобетона. – М.: Стройиздат, 1973. – 231 с. 10. Бабицкий В.В. Прогнозирование степени гидратации цемента с химическими добавками // Материалы, технологии, инструменты. – 2005. – №1. – С. 76-79.