

## РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОРАЗОГРЕВА БЕТОННОЙ СМЕСИ

Зеленковская Ж.Л., аспирант (БНТУ)

**Аннотация.** Интенсивность твердения бетона в значительной степени (при прочих равных условиях) определяется температурой окружающей среды. С ростом температуры процессы гидратации цемента резко интенсифицируются и бетон набирает заданную прочность в более ранние сроки. Отсюда следуют тривиальный вывод – чтобы получить определенную прочность в требуемые сроки – бетонную смесь (или в последующем бетон) надо нагреть до некоей расчетной температуры.

Как известно, в распоряжении инженера-технолога для реализации этой задачи есть разнообразные методы, один из которых – предварительный разогрев бетонной смеси с последующей укладкой в форму (опалубку) и твердение.

Цель предварительного электроразогрева может быть различной. Например, в технологии сборного железобетона такой технологический прием (электроразогрев в бункерах или специализированных установках либо пароразогрев в бетоносмесителях в процессе приготовления бетонной смеси) может быть использован для исключения периодов предварительной выдержки и подъема температуры, а также резкого сокращения длительности (или температуры) последующей тепловой обработки бетона. А в технологии монолитного строительства данный прием может быть использован как для ускорения процессов твердения бетона, к примеру, при положительной температуре, так и для обеспечения набора критической прочности бетона в заданные сроки при отрицательной температуре внешней среды. В целом, применение предварительного электроразогрева бетонных смесей является важным технологическим переделом, позволяющим получать бетонные и железобетонные конструкции высокого качества и долговечности, при минимальных затратах энергии.

При кажущейся простоте системы расчетов параметров электроразогрева бетонной смеси при практической реализации метода могут возникать трудности из-за недостатка требуемой предварительной информации. В частности, на наш взгляд, пока не в полной мере решена задача взаимной увязки состава бетона и параметров его предварительного разогрева. И этому вопросу пока уделяется недостаточно внимания, хотя именно состав бетона играет решающую роль в кинетике формирования его структуры, прочностных характеристик, морозостойкости, водонепроницаемости и долговечности. В частности, можно поставить простейшую задачу: что экономически целесообразнее – поднимать температуру разогрева бетонной смеси (чтобы в последующем в заданные сроки получить требуемую прочность бетона в бетонируемой конструкции при динамично изменяющихся условиях твердения) или

варьировать состав бетона, в том числе и введением разнообразных по эффективности и цене химических добавок. И решение такой задачи при «ручных» расчетах практически невозможно.

Трудно переоценить ту помощь, которую оказывает современное программное обеспечение конструкторам, проектировщикам, технологам. Такие вопросы, как перебор большого количества вариантов, выбор оптимальных параметров при наличии огромного числа взаимодействующих факторов и целый ряд других технических проблем, связанных с производством, сегодня может быть решено на высоком программном уровне. Основным достоинством применения таких прикладных программных продуктов является значительная экономия времени за счет автоматизации рутинных и громоздких вычислений. Мы попытались использовать возможности программирования для решения задачи совместного оптимального проектирования состава тяжелого бетона и параметров электронагрева бетонной смеси (рис. 1). Реализация алгоритма расчета - программный продукт, основные окна которого представлены на рис. 2 и 3.

Предварительному электронагреву могут подвергаться бетонные смеси, приготовленные на низко- и среднеалюминатных портландцементе, используемые для как для обычных бетонов (плотность 1800...2500 кг/м<sup>3</sup>), так и легких (500...1800 кг/м<sup>3</sup>). Точный расчет и подбор составов бетонных смесей обеспечивает получение состава, обладающего к моменту укладки в горячем состоянии необходимой подвижностью, а также заданной прочностью в установленные сроки, причем при наименьшем расходе вяжущего. В расчетах учтены активность и нормальная плотность цемента, вид, крупность и влажность заполнителей.

Полученные расходы компонентов бетонной смеси позволяют рассчитывать ее приведенную удельную теплоемкость, как один из изменяющихся факторов при расчете удельного расхода электроэнергии на разогрев 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси. Важный влияющий фактор при расчете потребной мощности для разогрева бетона в бункере (и последующем выборе марки трансформатора – величина удельного электрического сопротивления бетонной смеси, которая может быть определена экспериментально либо с учетом имеющихся в литературе рекомендаций. Однако анализ имеющихся в литературе данных, а также результатов экспериментальных исследований показал возможность ее рассчитывать по предлагаемой формуле:

$$\rho = \frac{k_{ц} \cdot D}{B^n}, \text{ Ом}\cdot\text{м},$$

где  $k_{ц}$  - коэффициент, зависящий от расхода цемента;

$D$  - содержание добавки-электролита, % (по сухому веществу) от массы цемента;

$B$  - расход воды, кг/м<sup>3</sup>;

$n$  - показатель степени, зависящий от вида цемента.

Если инженер-технолог, производящий расчеты, полагает, что рассчитанные значения удельного электрического сопротивления бетонной смеси не

соответствуют рекомендуемым, то с помощью соответствующего слайдера (рис. 3) может быть произведена корректировка.

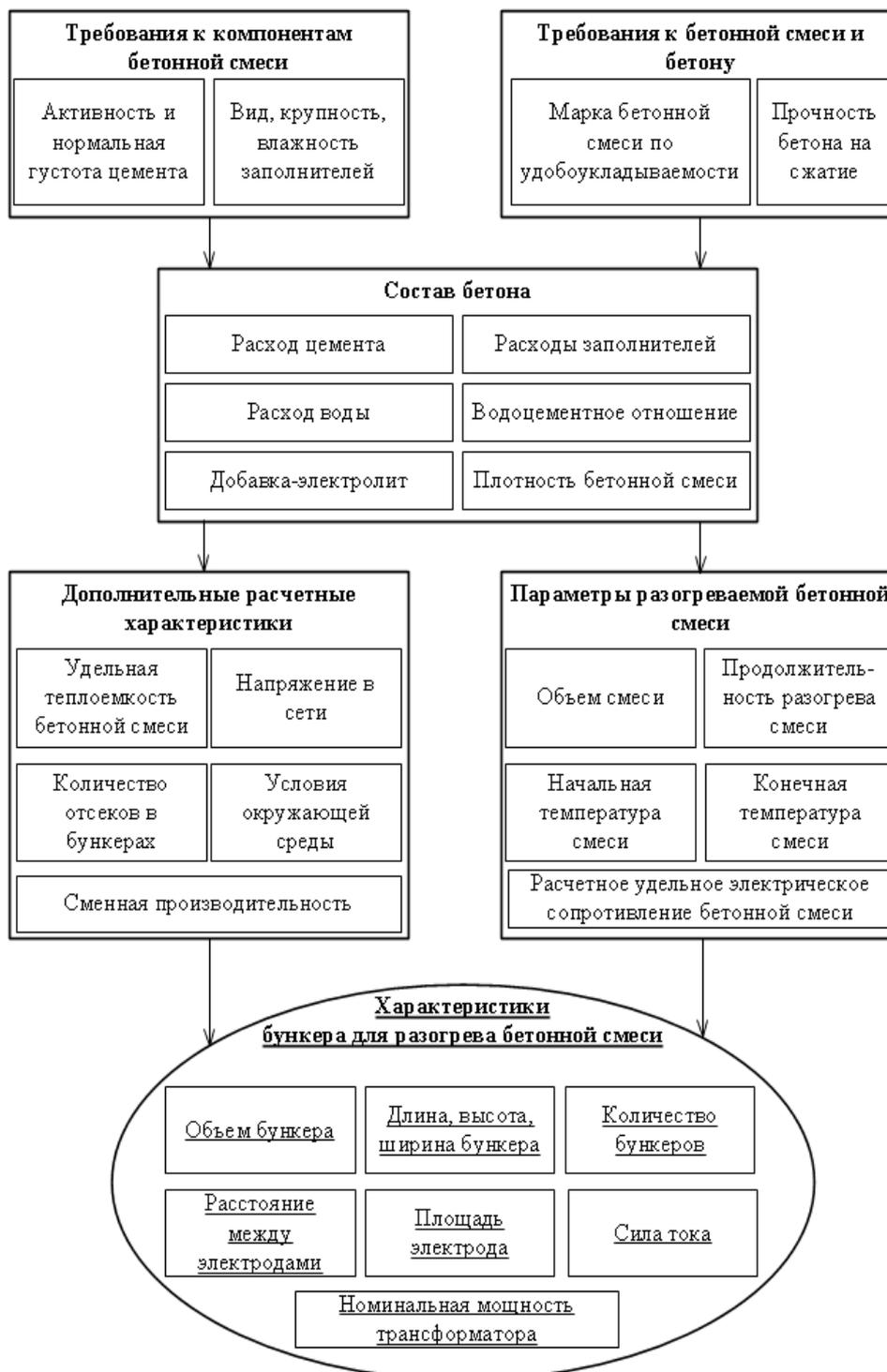


Рисунок 1 – Последовательность расчета параметров электронагрева бетонной смеси  
 Ввод исходных данных, необходимых для расчета, осуществляется только с помощью слайдеров, имеющих разумные ограничения, переключателей и комбинированных окон (рис. 1 и 2). Это полностью исключает возможности возникновения ошибочных ситуаций.

**Электроразогрев бетонной смеси**

Выход Состав бетона Модуль Разогрев Разработчики О программе Справка

### Проектирование состава бетона

**Свойства цемента:**

Активность, МПа:

Нормальная плотность, %:

**Требования к бетонной смеси и бетону:**

Подвижность бетонной смеси, см:

Жесткость бетонной смеси, с:

Прочность бетона, МПа:

**Свойства крупного заполнителя:**

щебень  гравий

плотный  карбонатный

Крупность:  10 мм  20 мм  40 мм  80 мм

**Добавка-электролит**

Дозировка химической добавки для снижения удельного электрического сопротивления бетонной смеси, % от массы цемента по сухому веществу:

Влажность крупного заполнителя, % по массе:

Влажность мелкого заполнителя, % по массе:

**Состав бетона**

Цемент.....	303
Мелкий заполнитель.....	757
Крупный заполнитель.....	1164
Вода.....	176
Водцементное отношение.....	0,582

Рисунок 2 – Окно проектирования состава бетона

**Электроразогрев бетонной смеси**

Выход Состав бетона Модуль Разогрев Разработчики О программе Справка

### Предварительный электроразогрев бетонной смеси

**Общие характеристики:**

Объем бетонной смеси, м куб:

Температура бетонной смеси, град С:

Начальная:

Конечная:

Время разогрева смеси, мин:

Удельное электрическое сопротивление бетонной смеси, Ом\*м:

Температура наружного воздуха, град С:

Скорость ветра, м/с:

Время транспортирования смеси, мин:

**Конструкция бункера:**

Длина бункера:  Принимаем:  длину бункера, м  высоту бункера, м

Количество отсеков в бункере:  ширина:

Напряжение в сети, В:

Сменная производительность, м куб:

Объем бункера, м куб: 1.4

Количество бункеров, шт.: 1

Расстояние между электродами, м: 0.6

Площадь электродов, м кв: 2

**Расчетные параметры:**

Удельный расход электроэнергии на разогрев 1 м куб бетонной смеси, кВт\*ч: 44.4

Расчетная мощность трансформатора, кВт: 42.3

Сила тока в подводящих кабелях, А: 62

Рисунок 3 – Окно расчета основных параметров электроразогрева бетонной смеси

В процессе расчетов оператор вводит значения объема разогреваемой бетонной смеси, начальную и конечную температуры, а также время разогрева бетона, а также конструктивные особенности бункера (длину или высоту, количество отсеков), напряжение в сети, сменную производительность установки. В результате поступает информация о конструктивных особенностях бункера для разогрева смеси (расстояние между электродами и их площади) и их потребном количестве.

Выбор необходимого трансформатора, а также сечение подводящих кабелей оператор производит по расчетной мощности трансформатора и силе тока.

Однако возможности данного программного обеспечения не ограничиваются приведенными. Опция «Модуль» предназначена для расчета модуля поверхности колонн и балок прямоугольного и квадратного сечений, куба, отдельно стоящего и прилегающего к массиву параллелепипеда, плит и стен, а также цилиндра. Значения температуры наружного воздуха, скорости ветра и времени транспортирования бетонной смеси, а также модуля поверхности бетонируемой конструкции (рис. 3) позволяют оптимизировать параметры последующего твердения бетона. Опция «Справка» предоставляет инженеру-технологу информацию о, например, оптимальных параметрах электроразогрева, характеристиках комплексных трансформаторных подстанций и трансформаторов.

Сопоставление результатов расчетов по представленному программному продукту с данными Арбеньева А.С. и других специалистов в области зимнего бетонирования показали вполне удовлетворительную сходимость рассчитываемых и фактических параметров.

**Выводы.** 1. Применение предварительного электроразогрева бетонных смесей является важным технологическим переделом, позволяющим получать бетонные и железобетонные конструкции высокого качества и долговечности, при минимальных затратах энергии. 2. Разработана компьютерная программа, позволяющая автоматизировать расчеты процессов электроразогрева бетонной смеси.

**Литература.** 1. Арбеньев А.С. Технология бетонирования с электроразогревом смеси. – М.: Стройиздат, 1980. - 165 с. 2. Лагойда А.В. Зимнее бетонирование с использованием противоморозных добавок к бетону. // Бетон и железобетон.–1984.–№ 9.– С. 23-26. 3. Лагойда А.В. Прогнозирование прочности бетона при повышенных температурах выдерживания. // Бетон и железобетон.–1994.–№ 4.– С.11-13. 4. Бобко Ф.А. Заданная величина энергетического потенциала строительных процессов. Эффективные строительные материалы, конструкции и технологии: Сборник трудов Международной научно-практической конференции / под ред. Блещика Н.П. – Мн.: «Технопринт», 2000. С. 486-493.