

I. Подготовительный этап

Ознакомление студентов с учебно-методическими материалами. Определение микротем как частей общей темы. Выделение базовых понятий, отражающих задачи исследования. Определение и распределение задач между членами группы, участвующей в исследовании.

II. Ход работы проекта

- 2.1 Определение структуры проекта (планирование Проекта).
- 2.2 Поисково-исследовательский период (Процесс исследования. Выступление с краткими докладами).
- 2.3 Этап оформления проекта (Реферат. Альбом. Сборник схем и таблиц).
- 2.3 I Этап подготовки к защите проекта (Экзамен).
- 2.4 II Этап II подготовки к защите проекта («проведение игры «Мозговой штурм»).
- 2.5 Защита проекта (проведение студенческого научного семинара на тему «Новые педагогические технологии: необходимость и условия»)

Заключительный этап

Естественно, возможны и спорные моменты в предлагаемых студентами решениях. В связи с этим, преподаватель должен заранее подготовиться, прежде чем проводить подобные работы.

Технические науки

ОГНЕСТОЙКОСТЬ БЕТОНА ПРИ ВЫСОКОИНТЕНСИВНОМ НАГРЕВЕ

Еналеев Р.Ш., Теляков Э.Ш., Анаников С.В.

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, e-mail: firepredict@yandex.ru

Бетон и его композиты являются наиболее распространенным несгораемым материалом строительных конструкций. Предельные состояния бетонных конструкций могут возникнуть в аварийных ситуациях при горении энергоемких веществ и материалов в аэрокосмической технике, атомной энергетике, нефтехимической технологии, металлургии.

Интеграция России в Европейское сообщество определяет необходимость гармонизации нормативных документов в различных сферах, в том числе и в области пожарной безопасности. Система еврокодов представляет собой набор европейских стандартов (EN) для проектирования строительных объектов. По международному стандарту пределы огнестойкости устанавливаются в огневых испытаниях с аппроксимацией температуры окружающей среды от начальной до 1200 °С в течение нескольких часов. В расчетных методах основным критерием при оценке предела огнестойкости по по-

тере несущей способности является критическая температура бетона без учета ее градиента в опасном сечении

Однако в реальных сценариях развития техногенных пожаров, например, на нефтехимических предприятиях, средняя температура горения углеводородов достигает 1700 °С, а тепловые потоки излучения – 450 кВт/м² при времени горения несколько десятков секунд.

При высокотемпературном нагреве в бетоне происходят сложные физико-химические и физико-механические процессы. В результате экспериментального исследования взрывного разрушения бетона, выполненные отечественными и зарубежными специалистами, установлено, что одной из основных причин разрушения бетона является капиллярное давление пара, образующееся при испарении равновесной влаги.

В [1] методами физического и математического моделирования процессов взаимодействия высокоинтенсивных тепловых потоков с бетонными элементами установлено, что при критических градиентах температуры в опасном сечении после достижения критической температуры (для тяжелого бетона 600 °С) возникают сквозные трещины и объемное разрушение элемента конструкции. В [2] для количественной характеристики явления возникновения и раз-

вития трещин предложен температурно-градиентный критерий:

$$\frac{|\text{grad}T|}{T_{\text{кр}}} = K \frac{\xi}{2\sqrt{a\tau}}, \quad (1)$$

где $|\text{grad}T|$ – градиент температуры на подвижной границе ξ , на которой достигается значение критической температуры $T_{\text{кр}}$; K – константа; a – температуропроводность бетона; τ – огнестойкость.

С помощью критерия (1) экспериментально обоснована инженерная методика расчета огнестойкости бетона при одностороннем высокоинтенсивном нагреве

В настоящее время теория разрушения бетона, учитывающая весь комплекс физико-химических факторов теплового воздействия и механизмы высокотемпературных процессов разрушения, далека от своего завершения. Проблема теплового удара – одна из центральных в термомеханике. Проводимые исследования для решения данной проблемы с использованием моделей динамической термоупругости получили широкое развитие при изучении закономерностей термонапряженного состояния в изотропных и анизотропных упругих телах.

Очевидно, можно выделить два подхода в тероретическом описании развития трещин. Один из них для однородных изотропных тел без учета физико-химических превращений впервые обоснован Даниловской В.И. [3]. Применительно к одностороннему равномерному нагреву элементов конструкций можно записать:

$$V^2 \frac{\partial^2 \sigma(x, \tau)}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \sigma(x, \tau)}{\partial \tau^2} = S \frac{\partial^2 T(x, \tau)}{\partial x^2}. \quad (2)$$

Здесь V – скорость распространения упругой волны; $\sigma(x, \tau)$ – напряжение; $T(x, \tau)$ – температура. В динамической задаче описывается термоупругая волна со скачком напряжения на фронте волны:

$$\sigma = E\alpha T_0 / (1 - 2\nu), \quad (3)$$

где E – модуль Юнга; α – коэффициент линейного теплового расширения; T_0 – начальная температура; ν – коэффициент Пуассона.

Другой подход основывается на первом начале термодинамики [4]:

$$dE_k + dU = dA^{(e)} + dQ^{(e)} + dQ^{**}, \quad (4)$$

где dU – изменение внутренней энергии рассматриваемого тела; dE_k – изменение его кинетической энергии; $dA^{(e)}$ – элементарная работа

внешних объемных и поверхностных макроскопических сил; $dQ^{(e)}$ – изменение общего внешнего притока тепла к телу; dQ^{**} – элементарный внешний макроскопический приток энергии к телу за счет особых микроскопических механизмов (химические воздействия на поверхности тела, электромагнитное внешнее излучение и т.п.).

На основании обобщения различных подходов в теории развития макроскопических трещин авторами предлагаются новые аспекты в дальнейшем развитии исследований по прогнозированию возникновения разрушительных сквозных трещин в бетоне.

Известно, что в классической теории упругости с учетом тепловых эффектов [4] полная внутренняя энергия тела представляется как сумма внутренней упругой и тепловой энергии тела плюс энергия, характеризующая сцепление частиц тела.

Тогда, используя основное уравнение термодинамики (4), можно, при некоторых условиях, получить основное соотношение теории трещин:

$$dU_0 = -dA_{d\Sigma}^{(e)} + dQ^{**}. \quad (5)$$

Здесь dU_0 – изменение внутренней энергии сцепления, затраченной на развитие трещин, $dA_{d\Sigma}^{(e)}$ – поток энергии, возникающей за счет перемещения краев, в которых имеет место концентрация напряжений.

Цель может превращаться в развивающуюся трещину по достижению равенства (5). Значение $dA_{d\Sigma}^{(e)}$ можно вычислить, если известно решение упругой задачи. Методы расчета dU_0 приводятся в литературе.

Выражение (5) есть самая общая постановка динамической задачи с наличием произвольного притока тепла и притока энергии dQ^{**} .

Список литературы

1. Еналеев Р.Ш., Теляков Э.Ш., Харитонов О.Ю., Тучкова О.А. Разрушение элементов конструкций при высокоинтенсивном нагреве // Космический вызов XXI века, Т.4 «Химическая и радиационная физика» / под ред. И.Г. Ассовского, А.А. Берлина, Г.Б. Манелиса, А.Г. Мержанова. – М.: ТОРУС ПРЕСС, 2011. – С. 579-583.
2. Еналеев, Р.Ш., Теляков Э.Ш., Тучкова О.А. Критерии огнестойкости элементов строительных конструкций на пожаровзрывоопасных объектах // Пожаровзрывобезопасность. – 2011. – Т. 20, № 1. – С. 33–41.
3. Даниловская В.И. Динамические напряжения в упругом полупространстве, возникающие вследствие внезапного нагрева его границы // Прикладная математика и механика. – 1952. – т.14, №3. – С. 341.
4. Седов Л.И. Механика сплошной среды. – М.: Изд-во «Наука», Т. 2, 1970. – 492 с.