

В.Н. Ильин
О ДЕФОРМАТИВНЫХ КРИТЕРИЯХ В РАСЧЕТАХ
ФАКТИЧЕСКИХ ПРЕДЕЛОВ ОГНЕСТОЙКОСТИ
НЕСУЩИХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

Фактические пределы огнестойкости элементов конструкций определяются экспериментальным и расчётным путем. Испытания строительных конструкций на огнестойкость строго регламентированы [1, 2] и проводятся при заданном температурном режиме "стандартного" пожара.

Время достижения одного из предельных состояний считается фактическим пределом огнестойкости.

Высокая стоимость, трудоемкость и длительная подготовка ограничивают возможности проведения натурных огневых испытаний, из-за чего, в ряде случаев, предпочтительнее оказываются расчетно-теоретические методы определения фактических пределов огнестойкости.

Для нормирования пределов огнестойкости колонн, балок, ферм, арок, рам и т.п. в качестве предельного состояния принимается только потеря несущей способности (R), под которой понимается либо обрушение конструкции, либо возникновение предельных деформаций.

Общепринятой в настоящее время является концепция "критической температуры", согласно которой расчет огнестойкости несущей конструкции проводится в два этапа (решение статической и теплотехнической задач). Предел огнестойкости t^* определяется как время достижения (при стандартном пожаре) критической температуры T^* , соответствующей предельному (для заданной нагрузки) распределению напряжений в опасном сечении конструкции.

Недостаточность указанного подхода очевидна, а его применение в ряде случаев может привести либо к необоснованному занижению, либо к чрезмерному завышению реальных пределов огнестойкости.

Во-первых, критическая температура, а значит и предел огнестойкости зависят от параметров нагружения конструкции, т.е. T^* не является универсальным параметром. Во-вторых, в модели обрушения конструкции используется приближенная диаграмма деформирования материала – диаграмма идеального упруго-пластического материала Прандтля, что существенно занижает реальные прочностные свойства конструкций. В-третьих, не учитываются принципиально другие свойства металлов, отличные от мгновенных упруго-пластических, а именно, свойства ползучести, существенно влияющие на процесс уже при температурах выше 300 °С. И, наконец, реальные температурные зависимости пожара могут сильно отличаться от стандартного, например, иметь постоянные и нисходящие участки.

Таким образом, однозначного соответствия температуры $T(t)$ и напряженно-деформированного состояния для металлоконструкций уже нет при $T \sim 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ из-за возникновения необратимых деформаций ползучести. Стандартный расчетный подход в этом случае может привести к совершенно неверным результатам.

Понятие "критической температуры" с учетом перечисленных выше обстоятельств теряет смысл. Поясним это на простом примере.

Пусть даны два одинаковых металлических стержня, нагруженных напряжением σ , при котором критическая температура равна, например, $T^* = 450\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Будем нагревать стержни каждый по своему температурному режиму. Пусть режим нагрева стержня 1 соответствует стандартному пожару, а в произвольном режиме нагрева стержня 2 температура не превышает уровень $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$. Применяя при оценке фактических пределов огнестойкости стержней концепцию критической температуры T^* , получим для режима 1 и первого стержня некоторое фиксированное значение предела огнестойкости – t_1^* , а для режима 2 и второго стержня – $t_2^* = \infty$, т.е. "вечный стержень". Предел огнестойкости $t_2^* = \infty$ не соответствует действительности, поскольку даже постоянный нагрев, например, при температуре $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C} = \text{const}$ неизбежно приведет к разрушению стержня за конечное время (зависящее от σ) в силу возникновения деформаций ползучести металлов [3]. Заметим при этом, что концепция T^* принципиально не даст результата для постоянных температурных режимов.

Устранить возникающие противоречия позволяет учет реальных свойств и соответствующих законов деформирования материалов при высоких температурах, а также использование в качестве критериев потери несущей способности металлоконструкций предельных уровней необратимых деформаций или их скоростей. В этом случае формально отпадает необходимость в двух традиционных этапах решения задачи огнестойкости, а проводится естественное изучение эволюции системы от начала термостатического нагружения до потери ее работоспособности или точнее - живучести. При этом параллельно решаются задачи о нестационарной теплопроводности и прочностной надежности конструкции [4, 5].

Данный подход условно можно назвать концепцией предельных деформаций, по аналогии с концепцией критической температуры.

Возвращаясь к приведенному выше примеру, следует заметить, что для режимов типа 1, оценки t^* в обоих подходах могут совпадать, если в качестве предельной деформации или ее скорости принять достаточно большую величину, другими словами, концепция предельных деформаций не замещает концепцию критической температуры (там, где это не требуется), а существенно ее расширяет, дополняет и включает в себя как част-

ный случай.

Таким образом, учет особенностей поведения строительных материалов и конструкций в реальных условиях пожара, наряду с правильным выбором критериев потери живучести, позволит получить более достоверную информацию об их огнестойкости.

Основная проблема расчета фактических пределов огнестойкости с учетом ползучести упирается в недостаточную изученность конкретных реологических законов и входящих в них параметров α_j для различных металлов при пожаре.

С учетом значительного случайного разброса параметров свойств материалов, полученных из макроэкспериментов, лучшей из теорий ползучести для инженерных расчетов будет та, которая основывается непосредственно на опытных данных и использует, по возможности, более простой математический аппарат.

С помощью специальных функций $v_i(t, \alpha_j)$ всегда могут быть сформулированы условия живучести конструкции при пожаре в виде $v_i(t, \alpha_j, H_i) > 0$, где H_i - недопустимый уровень v_i , исходя из соответствующего предельного состояния.

Искомый предел огнестойкости определяется как $t^* = \min t_i^*$, где t_i^* - корни уравнений $v_i(t, \alpha_j, H_i) = 0$.

Предложенный подход позволяет вычислять фактические пределы огнестойкости несущих металлоконструкций с учетом реологических свойств материала в реальных условиях пожара.

Большое количество примеров вычисления t^* рассмотрено в работах [4, 5], а именно, для гибкой нити, фрагментов ферм, фланцевых соединений, балок, сжатых стержней и т.д. Там же получены простые оценки в предположении $T(t) = \text{const}$, что допустимо на развитой стадии пожара и принципиально возможно только при учете деформаций ползучести. При $T(t) = \text{var}$ решение соответствующих задач проводится только численно.

Литература

1. ГОСТ 30247.0-94. Конструкции строительные. Методы испытания на огнестойкость. Общие требования.
2. ГОСТ 30247.1-94. Конструкции строительные. Методы испытания на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции.
3. Работнов Ю.Н. Ползучесть элементов конструкций. -М., Наука, 1966. -752 с.
4. Ильин В.Н., Парцевский В.В. Ползучесть металлических элементов конструкций в условиях пожара. -М.: ВИПТШ МВД СССР, 1990. -56 с.
5. Ильин В.Н., Парцевский В.В. Расчет несущей способности металлоконструкций при пожаре с учетом ползучести // Тезисы 4-ой Всесоюзной конференции "Пожаровзрывоопасность производственных процессов в металлургии". -М., 1991 -С. 180-183.

