

В.И. Голованов, зам. нач. отд., канд. техн. наук, **А.В. Пехотиков**, ст. науч. сотр.,
В.В. Павлов, ст. науч. сотр., ФГУ ВНИИПО МЧС России

РАСЧЕТ ОГНЕСТОЙКОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ СТАЛИ С ПОВЫШЕННЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ОГНЕСТОЙКОСТИ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В статье рассмотрены различные возможные виды температурного воздействия на стальные несущие конструкции в случае вероятного пожара на объектах нефтегазовой промышленности. Построена модель для решения задачи деформированного состояния балки в условиях нестационарного нагрева. Совместно со специалистами ЦНИИСК им. Кучеренко на экспериментальной базе ВНИИПО разработаны и исследованы новые марки стали ОбБФ и ОбМБФ с повышенными показателями огнестойкости и проведены огневые испытания опытных образцов двутавровых балок из данных сталей. Проведенная корреляция расчетных и экспериментальных данных показала удовлетворительную сходимость предложенного расчетного метода с результатами испытаний.

Известно, что объекты нефтегазоперерабатывающей промышленности характеризуются повышенной пожарной опасностью, что объясняется наличием большого количества легковоспламеняемых, взрывоопасных и горючих веществ. Источником углеводородного огневого воздействия являются материалы из нефти, масла и газа. Температура в очаге пожара, уже спустя 5 минут горения, может достигать 1100°C. В практике строительства широкое распространение получили металлические конструкции, обладающие высокой прочностью, относительной легкостью и долговечностью. Стальные конструкции в нефтегазовом комплексе, как правило, используются при возведении административных, производственных, складских зданий и сооружений, а также на нефтедобывающих платформах. Большую пожарную опасность представляют металличе-

ские резервуары для хранения углеводородных продуктов, в которых при повышении температуры происходит резкое увеличение внутреннего давления. Данное воздействие на механическую прочность резервуара может привести к разрушению конструкции. Несущие металлоконструкции относятся к несгораемым. Однако под воздействием высоких температур при пожаре они деформируются, теряют устойчивость и несущую способность. Деформация и потеря несущей способности в результате пожара стальных балок и ферм вызывают обрушения покрытий, перекрытий и даже целиком зданий. Температура и продолжительность пожара являются основными факторами, воздействующими на строительные конструкции, приводящими к их разрушению. Установлено, что при реальных пожарах данные показатели изменяются в большом диапазоне, так как

зависят от многих факторов, таких как: количество и тип пожарной нагрузки, размеры и конфигурация помещения и строительных конструкций, наличие систем вентиляции и дымоудаления и т.д. Наиболее высокая температура (до 1300°C) отмечалась во время пожаров в производственных и складских зданиях для переработки и хранения твердых сгораемых материалов и горючих жидкостей.

Данные о температуре на реальных пожарах были положены в основу температурных режимов, принятых стандартами ряда государств для огневых испытаний строительных конструкций. Наиболее известные стандартные температурные зависимости, принятые в различных странах представлены на рис. 1. Международной организацией по стандартизации была рекомендована единая стандартная температурная кривая (ЕТК) для испытаний на огне-

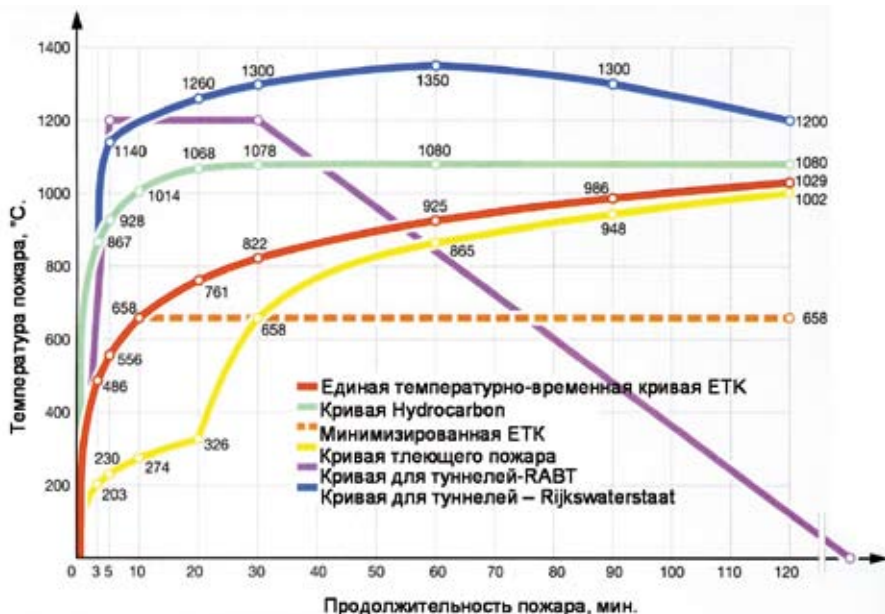


Рис. 1. Стандартные температурные зависимости, моделирующие пожары

стойкость строительных конструкций (см. рис. 1), которая до настоящего времени используется в нашей стране.

Температурная кривая «стандартного пожара» используется как при испытаниях, так и при расчетах конструкций на огнестойкость. Однако учитывая специфику возникновения и распространения пожара в зданиях различного назначения, часто прибегают к необходимости использования других температурных зависимостей, отражающих процесс горения для конкретных сценариев (см. рис. 1). Так, например, была утверждена так называемая углеводородная кривая (Hydrocarbon), которая разрабатывалась с учетом повышенной температуры и продолжительности горения углеводородных топлив. Данная температурная кривая может применяться для оценки пожарной опасности и огнестойкости зданий и соору-

жений в области нефтегазового хозяйства.

Таким образом, учитывая разнообра-

зие стандартных методик расчета температурных режимов, а также широкий спектр реальных показателей пожаров, необходим дифференцированный подход при задании граничных условий для расчета строительных конструкций на огнестойкость. Задача прочностного расчета конструкций, при введении специальных параметров температурного воздействия, может быть решена с использованием численных методов расчета, основные положения которых приведены ниже.

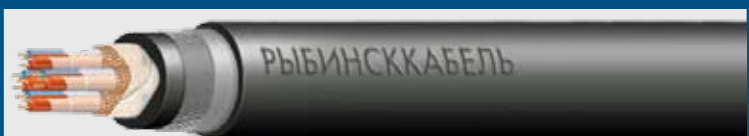
Разработка проектов зданий и сооружений нефтегазового комплекса связана с повышенными требованиями по обеспечению мер пожарной безопасности. Для этого требуется оценка огнестойкости строительных конструкций объекта и, при необходимости, разработка мер по снижению пожарной опасности здания. На сегодняшний день существующие

испытательные методы не дают возможности дешево и оперативно определять огнестойкость конструкций, а традиционные расчетные методы не дают надежных результатов при расчете крупногабаритных конструкций, так как не учитывают влияние деформации температурной ползучести стали на потерю прочности и устойчивости конструкции при пожаре.

Исходя из существующей теории напряженного состояния и деформативности твердого тела была разработана модель процесса деформирования стальных элементов при действии постоянно приложенной нагрузки в условиях нагрева. Данная математическая модель является усовершенствованной по сравнению с существую-

Рыбинский кабельный завод
рыбинсккабель
 г. Москва, шоссе Энтузиастов, д. 5, офис 307, 611
 Тел.: (495) 937-40-24, 792-51-21 (многоканальные) | rk-m@rkz.ru
WWW.RKZ.RU

В БУДУЩЕЕ ВМЕСТЕ



КАБЕЛЬ МОНТАЖНЫЙ МНОГОЖИЛЬНЫЙ С ЭКРАНОМ ИЗ МЕДНЫХ ПРОВОЛОК (КМЭВ, КМЭВнг, КМЭВнг-LS)

КАБЕЛЬ МОНТАЖНЫЙ МНОГОЖИЛЬНЫЙ С ЭКРАНОМ ИЗ МЕДНЫХ ПРОВОЛОК С БРОНЕЙ ИЗ СТАЛЬНЫХ ОЦИНКОВАННЫХ ПРОВОЛОК (КМЭКВ, КМЭКВнг, КМЭКВнг-LS)

ISO 9001:2000



щими методами расчета строительных конструкций благодаря введению новых параметров по температурной ползучести стали. На основе полученных зависимостей был разработан алгоритм расчета огнестойкости стальных конструкций с огнезащитными материалами.

В расчетной модели последовательность огневого воздействия подразделяется на ряд временных интервалов Δt , чья продолжительность выбирается в соответствии с температурами T и напряжениями σ .

Прогиб балки в середине сечения рассчитывается в конце каждого временного интервала. Для осуществления расчета необходимо знать кривизну балки.

Распределение деформации ε по каждому поперечному сечению определяется для того, чтобы рассчитать кривизну балки. Этот расчет осуществляется при разбивке поперечного сечения на ряд элементов, для которых вычисляется деформация и напряжение.

Благодаря тому, что температура обогриваемой балки изменяется во времени, а характеристики прочности и деформации изменяются в зависимости от температуры, то деформация и напряжение будут меняться во времени. Изменение деформации и напряжения во временной интервал Δt от t_n до t_{n+1} определяется для условно выбранного элемента поперечного сечения «i». Кривая зависимости деформации от напряжения и температуры определяется на основании испытаний на разрыв стали при повышенных температурах.

Зависимость напряжения от деформации может быть записана в виде:

$$\sigma = k_i \varepsilon + L_i$$

где k_i — тангенс угла наклона линии зависимости деформации от напряжения при повышенных температурах для соответствующей деформации;

L_i — значение ординаты на оси σ , МПа. Используя кривые зависимости деформации от напряжения и температуры для изменения напряжения в интервале времени Δt , получим:

$$\Delta \sigma \approx \left(\frac{\partial \sigma}{\partial \varepsilon} \right)_T \Delta \varepsilon + \left(\frac{\partial \sigma}{\partial t} \right)_\varepsilon \Delta T$$

$$\sigma = \left. \frac{\partial \sigma}{\partial \varepsilon} \right|_{T_n} \varepsilon + \sigma_n - \left. \frac{\partial \sigma}{\partial \varepsilon} \right|_{T_n} \varepsilon_n + - \left. \frac{\partial \sigma}{\partial T} \right|_{\varepsilon_n} (T - T_n) = \left. \frac{\partial \sigma}{\partial \varepsilon} \right|_{T_n} \varepsilon + L_{n+1}$$

где n — номер участка;

$\Delta \varepsilon$ — приращение деформации, %;

σ_n — нормальное напряжение на участке n , МПа;

ε_n — деформации на участке n , %;

T_n — температура на участке n , К.

Сумма остаточной деформации от предыдущих временных периодов и деформации ползучести во временной интервал Δt рассчитывается с помощью уравнений ползучести, описанных в работах [1, 2]:

$$\theta = \int_0^t e^{-\frac{\mu}{T}} dt = \int_0^t \exp\left(-\frac{\mu}{T}\right) dt \quad (1)$$

$$\varepsilon_t = (\varepsilon_{t_0} / \ln 2) \cosh^{-1}(2^{2\theta/\varepsilon_{t_0}}) \quad (2)$$

где θ — параметр «приведенное время», характеризующий режим нагрева;

t — время, ч;

μ — параметр характеризующий марку стали, K^{-1} ;

ε_{t_0}, Z — параметры ползучести, зависящие от величины напряжения.

Значение μ и соотношение между напряжением ε_{t_0} и напряжением Z определяются с помощью стандартных испытаний на ползучесть.

Условное распределение деформации по высоте поперечного сечения может быть представлено как сумма ε_n деформаций от сжатия и от изгиба ε_m .

Сумма напряжений по элементам поперечного сечения δ_i и площадей элементов A_i должна быть равна продольной силе N в поперечном сечении:

$$\sum_i \left[k_i \left(\varepsilon_n + \frac{2y_i}{h} \cdot \varepsilon_m - \varepsilon_{t_i} \right) + L_i \right] \cdot A_i = N$$

где ε_n — деформация от сжатия, %;

ε_m — деформация от изгиба, %;

y_i — расстояние до нейтральной оси, м;

h — высота балки, м;

A_i — площадь элемента, m^2 ;

N — продольная сила, Н.

Сумма напряжений по элементам поперечного сечения δ_i и площадей элементов A_i , умноженных на расстояние

y_i до нейтральной оси, должна быть равна наружному моменту M , действующему в поперечном сечении:

$$\sum_i \left[k_i \left(\varepsilon_n + \frac{2y_i}{h} \cdot \varepsilon_m - \varepsilon_{t_i} \right) + L_i \right] \cdot A_i y_i = M$$

Суммарный изгибающий момент от действия сосредоточенной нагрузки $M(p, x)$, распределенной нагрузки $M(q, x)$ и сосредоточенного внешнего момента $M(m, x)$ равен:

$$M(x) = M(p, x) + M(q, x) + M(m, x)$$

С помощью формул для определения N и M получаем значения ε_n и ε_m

$$\varepsilon_m = \frac{h}{2} \cdot \frac{(M + \sum_i k_i A_i y_i \varepsilon_{t_i} - \sum_i L_i A_i y_i) \sum_i k_i A_i - (N + \sum_i k_i A_i \varepsilon_{t_i} - \sum_i L_i A_i) \sum_i k_i A_i y_i}{\sum_i k_i A_i y_i^2 \cdot \sum_i k_i A_i - (\sum_i k_i A_i y_i)^2} \quad (3)$$

$$\varepsilon_n = \frac{N + \sum_i k_i A_i \varepsilon_{t_i} - \sum_i L_i A_i - \frac{2}{h} \varepsilon_m \sum_i k_i A_i y_i}{\sum_i k_i A_i} \quad (4)$$

Выражение

$$\varepsilon_{t_{n+1}} = e_n + \frac{2y_i}{h} e_m - e_{t_i} - \frac{\sigma_i}{E_i} \quad (5)$$

относится к остаточной деформации $\varepsilon_{t_{n+1}}$ для i^{th} элемента во время t_{n+1} , где E_i есть модуль упругости во время t_{n+1} для i^{th} элемента. Остаточная деформация различных элементов, рассчитанная с помощью данной формулы, является основой расчетов деформаций и напряжений элементов во время t_{n+2} . Если конечные значения ε_m и ε_n рассчитываются как и ранее для поперечного сечения во время t_{n+1} , то может быть рассчитана кривизна этого сечения:

$$K = \frac{\varepsilon_m}{h/2} \quad (6)$$

Дифференциальное уравнение центрального прогиба балки может быть записано как:

$$y''(x) = K_k$$

Интегрируя дифференциальное уравнение получаем зависимость для угла поворота:

$$y'(x) = K_k x + b \quad (7)$$

После вторичного интегрирования и преобразований имеем:

$$y'(l) = y'_{k+1} = K_k l + y'_k \quad (8)$$

$$y(l) = y_{k+1} = K_k \frac{l^2}{2} + y'_k l + y_k \quad (9)$$

Из уравнения (8):

$$y'_{k+1} = y'_1 + l \sum_{i=1}^k K_i \quad (10)$$

Из уравнения (9):

$$y_{k+1} = -\frac{l^2}{2} \sum_{i=1}^k K_i + l \sum_{i=1}^k y'_i \quad (11)$$

Используя граничные условия на опорах балки принимаем, что прогиб в первом сечении y_1 и последнем y_{N+1} равен 0.

Принимаем: G — число отрезков на которое разбивается балка; L — длина балки;

$L/G = l$ — длина отрезка, при разбивке балки на G отрезков.

$$y_{G+1} = -\frac{l^2}{2} \sum_{i=1}^G K_i + l \sum_{i=1}^G y'_i = 0$$

После преобразований получаем:

$$y'_1 = -\frac{l}{G} \sum_{i=1}^G K_i (G + \frac{1}{2} - i) \quad (12)$$

Опуская промежуточные выкладки получаем формулу для определения прогиба в k -ом сечении:

$$y_{k+1} = l^2 \left[\sum_{i=1}^k K_i \left[i \left(1 - \frac{k}{G} \right) - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{k}{G} \right) \right] + \frac{k}{G} \sum_{i=k+1}^G K_i \left(G + \frac{1}{2} - i \right) \right] \quad (13)$$

где $l \cdot k = x$; $l \cdot i = s$;

Используя уравнение (12) и переходя к $G \rightarrow \infty$ получаем зависимость для угла поворота в произвольном сечении балки:

$$y'(x) = \int_0^x K(s) ds - \int_0^L K(s) \frac{(L-s)}{L} ds \quad (14)$$

Используя рекуррентную формулу (13) получаем формулу для прогиба в $k+1$ узле:

$$Y(x) = -\frac{L-x}{L} \int_0^x s K(s) ds - \frac{x}{L} \int_x^L K(s) (L-s) ds \quad (15)$$

Таким образом получена замкнутая система решения задачи расчета деформированного состояния балки в условиях пожара [3].

В качестве примера, используя формулу (13) определим прогиб в среднем сечении балки при разбивке её на 10 равных участков, где

$G = 10$ — количество участков на которое разбита балка;

$l = L/G$ — длина участка балки;

$k = 5$ — номер участка балки.

После подстановки значений в формулу и сокращений получаем:

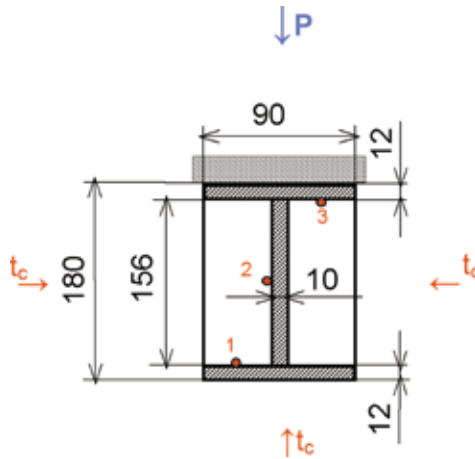


Рис. 2. Опытный образец (поперечное сечение) стальной балки для испытаний на огнестойкость под нагрузкой
1-3 — термопары;

$\uparrow t_c$ — направление теплового воздействия на опытный образец;

$\downarrow P$ — направление воздействия сосредоточенной нагрузки.

$$y_6 = -l^2 \left(\frac{1}{4} K_1 + \frac{1}{2} K_2 + \frac{3}{4} K_3 + K_4 + \frac{4}{5} K_5 + \frac{9}{4} K_6 + \frac{7}{4} K_7 + \frac{5}{4} K_8 + \frac{3}{4} K_9 + \frac{1}{4} K_{10} \right)$$

Используя уравнение (6), подставляем вместо значений кривизны $K_1 - K_{10}$ полную деформацию e_m , и учитывая, что $l = L / 10$ получаем прогиб в среднем сечении балки:

$$y_6 = -\frac{L^2}{50h} \left(\frac{1}{4} e_{m1} + \frac{1}{2} e_{m2} + \frac{3}{4} e_{m3} + e_{m4} + \frac{4}{5} e_{m5} + \frac{9}{4} e_{m6} + \frac{7}{4} e_{m7} + \frac{5}{4} e_{m8} + \frac{3}{4} e_{m9} + \frac{1}{4} e_{m10} \right)$$

где h — высота балки.

Данная математическая модель может быть решена численным методом (методом конечных элементов) с помощью ЭВМ, на конкретных моделях конструкций балок из сталей с исследованными прочностными характеристиками.

На экспериментальной базе ВНИИПО совместно со специалистами ЦНИИСК им. Кучеренко были проведены огневые испытания образцов стальных двутавровых балок из разных марок стали. Наряду с изученными марками стали СтЗсп5 и 09Г2С, испытывались новые

марки стали, разработанные ЦНИИСК: 06БФ горячекатаная и 06МБФ термически улучшенная. Подробные характеристики сталей и результаты испытаний представлены в работах [4, 5].

Особенностями новых марок стали являлись усовершенствованный химический состав и термообработка, позволяющие изменить закон снижения предела текучести стали при высокотемпературном нагреве. Повышенная огнестойкость достигается микролегированием сильных карбонитридообразующих элементов Nb (ниобия), V (ванадия) и Mo (молибдена) и снижением количества C (углерода) и Mn (марганца), повышающих прочность стали при нормальной температуре и снижающих стабильность структуры при повышенных температурах. Рабочие свойства стали достигаются термообработкой (термическим упрочнением).

При одинаковом значении нормативного сопротивления, для конструкций из указанных марок стали, в сравнении с обычными марками, в процессе нагревания имеет место более продолжительное сохранение прочностных свойств. В данном случае исключается быстрое начало нарастания деформаций температурной ползучести под действием постоянной нагрузки, характерное для обычных марок стали, накопление которой приводит к потере несущей способности конструкций. Таким образом, время достижения предельных деформаций продлевается, что способствует увеличению предела огнестойкости конструкции. Применение данных марок стали в производстве позволяет обозначить тенденцию увеличения пределов огнестойкости конструкций из стали за счет изменения ее физико-химических свойств.

Опытные образцы для огневых испытаний представляли собой сварные двутавровые балки длиной 3000 мм и высотой поперечного сечения 180 мм (рис. 2). Испытания образцов стальных балок на огнестойкость проводились под действием статической нагрузки, со-

Основные результаты испытаний стальных двутавровых балок из разных марок стали

№ опытного образца	Марка стали	Нормативное сопротивление R_{yn} , МПа	Нагрузка P , кг	Температура на опытных образцах, °С			Время достижения предельного состояния, мин.
				Нижняя полка двутавра (термопара № 1)	Стенка двутавра (термопара № 2)	Верхняя полка двутавра (термопара № 3)	
1	СтЗсп5	255	4000	700	685	615	28
2				658	635	564	24
3	06БФ горячекатаная		5400	710	685	642	26,5
4				735	712	648	27,5
5				678	675	610	28,5
6				730	700	643	27
7	09Г2С	345	7750	660	599	524	23
8				617	599	552	25
9	06БФ термически упрочненная	255		629	611	592	27
10				657	629	579	29
11	06БФ горячекатаная	255		650	615	550	20
12	06МБФ горячекатаная с огнезащитным покрытием	345		630	589	555	61

средоточенной в середине пролета. Величина нагрузки при испытании образцов устанавливалась исходя из заданного напряженного состояния и класса прочности стали.

Прогибы образцов в середине пролетов в ходе нагружения и в процессе испытания измеряли приборами Максимова.

Опытные образцы стальных балок подвергались трехстороннему тепловому воздействию по стандартному температурному режиму согласно ГОСТ 30247.0 [6]. Наружная поверхность верхней полки двутавра (необогреваемая) изолировалась минераловатными плитами.

Предел огнестойкости конструкции определялся согласно ГОСТ 30247.1-94 [7], по достижению предельного состояния по потере несущей способности, вследствие возникновения предельных деформаций. Для изгибаемых конструкций следует считать, что предельное состояние наступило, если:

- прогиб достиг величины $L/20$, или
 - скорость нарастания деформаций достигла $L^2/(9000 h)$ см/мин
- где L — длина балки, $L = 300$ см;
 h — высота балки, $h = 18$ см.

Соответственно для указанных образцов балок предельные величины:

$$L/20 = 15 \text{ см, либо}$$

$$L^2/(9000 h) = 0,55 \text{ см/мин.}$$

Основные результаты испытаний стальных двутавровых балок представлены в таблице.

Показания температур и прогибов при испытаниях двутавровых балок из разных марок стали под нагрузкой представлены на рис. 3.

В соответствии с полученными экспериментальными данными были произведены машинные расчеты деформации стальных балок из сталей с повышенными показателями огнестойкости в условиях пожара.

Для решения математической модели были взяты испытанные конструкции балок – образцы № 7, № 10, № 12. Балки № 7 и № 10 выполнены из марок сталей сходных по классу прочности (С 345) 09Г2С и 06МБФ. Балки № 10 и № 12 выполнены из одинаковой стали 06МБФ. Их отличие состоит в различных режимах обогрева в связи с применением огнезащиты и без нее.

Новая марка стали с повышенной ог-

нестойкостью имеет следующие прочностные характеристики:

- сталь 06МБФ (С345) по ТУ 14-1-5399-2000 горячекатаная или термически упрочненная;
- предел текучести $\sigma_T \geq 345$ Н/мм²;
- временное сопротивление $\sigma_B \geq 490 \div 670$ Н/мм²;
- относительное удлинение (характеристика пластичности) $\delta_5 = 21$ %;
- ударная вязкость $KCU^{-70} \geq 34$ Дж/см².

Характеристики сечения:

- площадь сечения $F = 37,2$ см²;
- момент инерции $J = 1843$ см⁴;
- максимальный момент сопротивления сечения балки $W = 204,8$ см³.

При расчете на огнестойкость принимается пластический момент сопротивления $W_{пл}$. Для двутаврового сечения $W_{пл} = 1,17 W = 1,17 \cdot 204,8 = 239,6$ см³.

Приведенная толщина металла балки при трехстороннем обогреве $\delta_{пр} = 6,1$ мм.

Изменение температурного поля в сечении балки выбиралось в соответствии с показаниями термопар, полученными в процессе огневых испытаний.

Расчетная нагрузка на балку соответствовала экспериментальной и состав-

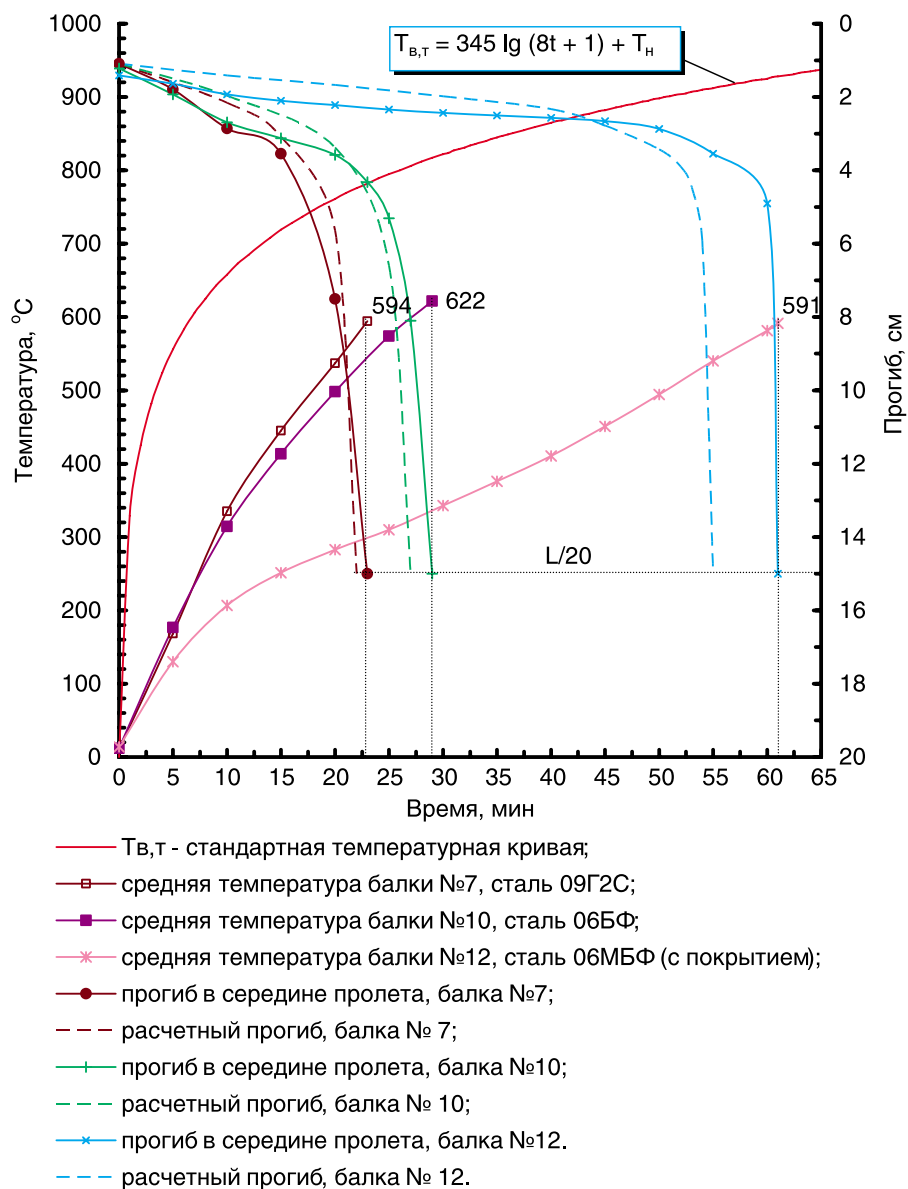


Рис. 3. Экспериментальные и расчетные показания температур и прогибов двутавровых балок из разных марок стали под нагрузкой

ляла 7750 кг (сосредоточенная в середине пролета).

Расчетные кривые прогибов двутавровых балок из разных марок стали под нагрузкой при нестационарном нагреве представлены на рис. 3 (отмечены пунктиром). Проведенная корреляция расчетных и экспериментальных данных показала удовлетворительную сходимость предложенного расчетного метода с испытаниями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Рассмотренные в статье новые марки стали 06БФ и 06МБФ с повышенными показателями огнестойкости являются эффективным средством повы-

шения огнестойкости несущих стальных конструкций. В сочетании с огнезащитными материалами стальные конструкции из данных марок стали способны обеспечить высокие нормативные требования по огнестойкости, предъявляемые на объектах с повышенной пожарной опасностью.

2. Предложенная математическая модель расчета деформаций стальных конструкций в дальнейшем может быть использована для конструкций любой конфигурации, с огнезащитой и без нее. Численное решение статической задачи на современных программных комплексах позволяет выбирать раз-

нообразные режимы обогрева конструкции, в том числе режимы реальных пожаров, включая горение углеводородных топлив, таких как нефть, продукты нефтепереработки и газ.

3. На сегодняшний день разработанный расчетный метод позволяет получить следующие преимущества по сравнению с традиционными методами:

- повысить точность расчетов стальных несущих конструкций на огнестойкость;
- расширить диапазон применения расчетного метода, внедряя новые условия работы и режимы обогрева конструкций при пожаре;
- использовать расчетный метод для проектирования объектов нефтегазового комплекса, с учетом развивающейся системы «гибкого» нормирования в области пожарной безопасности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tohr I. Deformation and critical loads of steel beams under fire exposure conditions. - Stockholm- 1973- 123 p.
2. Голованов В.И. Учет температурной ползучести стали при расчетах на огнестойкость металлических конструкций. //Пожаровзрывобезопасность.-1993.- №3. С. 47-50.
3. Голованов В.И., Яйлиан Р.А. Математическая модель расчета деформации стальных балок в условиях пожара. Пожарная безопасность многофункциональных и высотных зданий и сооружений. //Материалы XIX научно-практической конференции. Часть 1. М.:Изд-во ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2005.-С.132.
4. Морозов Ю.Д., Эфрон Л.И., Чевская О.Н., Штычков Н.Н., Одесский П.Д., Соловьев Д.В., Москаленко В.А., Степашин А.М., Шабалов И.П. Сталь с повышенной огнестойкостью для металлических конструкций – М.: “Сталь”, № 9, 2004 г. – 48 с.
5. Голованов В.И., Пехотиков А.В., Соловьев Д.В. (ГУП ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко) Исследование огнестойкости несущих конструкций из новых марок стали под нагрузкой – М.: Материалы XVIII научно-практической конференции “Снижение риска гибели людей при пожарах”, ВНИИПО, 2003 г – Ч1, с. 145.
6. ГОСТ 30247.0-94 “Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования”.
7. ГОСТ 30247.1-94 “Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции”.