

УДК 693.814:699.81

О МЕТОДИКАХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОГНЕСТОЙКОСТИ И ОГНЕСОХРАННОСТИ СТАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

ГУЛЬ Ю. П.¹, к.т.н., доц.

ИВЧЕНКО А. В.^{2*}, к.т.н., с.н.с.

КОНДРАТЕНКО П. В.^{3*}, асп.

ЧМЕЛЛЕВА В. С.^{4*}, к.т.н., доц.

ПЕРЧУН Г.И.^{5*}, к.т.н., доц.

¹Кафедра термической обработки металлов, Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, 49600, г. Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 46-24-53, e-mail: kaf.tom@metal.nmetau.edu.ua, ORCID 0000-0003-3754-7731

^{2*}Кафедра термической обработки металлов, Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, 49600, г. Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 46-24-53, e-mail: armst_2000@mail.ru, ORCID 0000-0002-4518-1744

^{3*}Кафедра термической обработки металлов, Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, 49600, г. Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 46-24-53, e-mail: achriman@yandex.ua, ORCID 0000-0003-2242-3496

^{4*}Кафедра термической обработки металлов, Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, 49600, г. Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 46-24-53, e-mail: kaf.tom@metal.nmetau.edu.ua

^{5*}Кафедра термической обработки металлов, Национальная металлургическая академия Украины, пр. Гагарина, 4, 49600, г. Днепр, Украина, тел. +38 (0562) 46-24-53, e-mail: perchun_galina@ukr.net, ORCID 0000-0001-9013-4659

Аннотация. Цель. Обосновать необходимость совершенствования методик определения характеристик огнестойкости и огнесохранности (ХОст и Осх) стальных элементов несущих конструкций (СтЭНК) и предложить новые схемы этих методик. **Методика.** На основе сравнительного анализа существующих методик определения ХОст и Осх и фактических условий термических воздействий на СтЭНК при пожарах разрабатываются и обосновываются новые схемы рассматриваемых методик. **Результаты.** Представлены новые схемы методик определения ХОст и Осх в лабораторных условиях, в существенно большей степени учитывающие реальные условия термических воздействий на СтЭНК при пожарах и результаты таких воздействий. **Научная новизна.** Впервые в предлагаемых методиках учтено фактическое формирование напряженного состояния в СтЭНК при пожарах и условиях охлаждения после них, необходимость использования схем нагружения для определения комплекса свойств; различных скоростей нагрева и охлаждения; определение не только характеристик сопротивления деформации, но и разрушению; определение последних не только при обычных, но и при пониженных температурах; индивидуального подхода при определении ХОст и Осх в зависимости от типа конструкции. **Практическая значимость.** Предлагаемые методики определения ХОст и Осх, по определению, должны обеспечить получение существенно более адекватных характеристик фактической Ост и Осх СтЭНК и следовательно, и самих несущих конструкций (НК) при внесении этой информации в соответствующую нормативную документацию по расчету Ост и Осх конструкций и сооружений. Использование ХОст и Осх, получаемых по новым методикам, при разработке новых марок стали с соответствующим структурным состоянием – в совокупности с указанным выше – поднимет уровень пожароустойчивости различных сооружений, использующих стальные НК.

Ключевые слова: огнестойкость, огнесохранность, элементы стальных несущих конструкций, алгоритм, лабораторные испытания

ПРО МЕТОДИКУ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВОГНЕСТІЙКОСТІ І ВОГНЕЗБЕРЕЖЕННЯ СТАЛЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦІЙ

ГУЛЬ Ю. П.¹, к.т.н., доц.

ИВЧЕНКО О. В.^{2*}, к.т.н., с.н.с.

КОНДРАТЕНКО П. В.^{3*}, асп.

ЧМЕЛЬОВА В. С.^{4*}, к.т.н., доц.

ПЕРЧУН Г.И.^{5*}, к.т.н., доц.

¹Кафедра термічної обробки металів, Національна металургійна академія України, пр. Гагарина, 4, 49600, м. Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 46-24-53, e-mail: kaf.tom@metal.nmetau.edu.ua, ORCID 0000-0003-3754-7731

^{2*}Кафедра термічної обробки металів, Національна металургійна академія України, пр. Гагарина, 4, 49600, м. Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 46-24-53, e-mail: armst_2000@mail.ru, ORCID 0000-0002-4518-1744

^{3*}Кафедра термічноїобробкиметалів, НаціональнаметалургійнаакадеміяУкраїни, пр. Гагаріна, 4, 49600, м. Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 46-24-53, e-mail: achriman@yandex.ua, ORCID 0000-0003-2242-3496

^{4*}Кафедра термічноїобробкиметалів, НаціональнаметалургійнаакадеміяУкраїни, пр. Гагаріна, 4, 49600, м. Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 46-24-53, e-mail: kaf.tom@metal.nmetau.edu.ua

^{5*} Кафедра термічноїобробкиметалів, НаціональнаметалургійнаакадеміяУкраїни, пр. Гагаріна, 4, 49600, м. Дніпро, Україна, тел. +38 (0562) 46-24-53, e-mail:perchun_galina@ukr.net, ORCID 0000-0001-9013-4659

Анотація. Мета. Обґрунтувати необхідність вдосконалення методик визначення характеристик вогнестійкості і вогнезбереження сталевих елементів несучих конструкцій та запропонувати нові схеми цих методик. **Методика.** На основі порівняльного аналізу існуючих методик визначення характеристик вогнестійкості і вогнезбереження і фактичних умов термічних впливів на сталеві елементи несучих конструкцій при пожежах розробляються і обґрунтовуються нові схеми розглянутих методик. **Результати.** Представлені нові схеми методик визначення характеристик вогнестійкості і вогнезбереження в лабораторних умовах, в значно більшою мірою враховують реальні умови термічних впливів на сталеві елементи несучих конструкцій при пожежах та результати таких впливів. **Наукова новизна.** Вперше в пропонуваніх методиках враховано фактичне формування напруженого стану в сталевих елементах несучих конструкцій при пожежах та умовах охолодження після них, необхідність використання: різних схем навантаження для визначення комплексу властивостей; різних швидкостей нагріву і охолодження; визначення не тільки характеристик опору деформації, але і руйнування; визначення останніх не тільки при звичайних, але і при знижених температурах; індивідуального підходу при визначенні характеристик вогнестійкості і вогнезбереження в залежності від типу конструкції. **Практична значимість.** Пропоновані методики визначення характеристик вогнестійкості і вогнезбереження, за визначенням, повинні забезпечити отримання істотно більш адекватних характеристик фактичної вогнестійкості і вогнезбереження сталевих елементів несучих конструкцій і отже, і самих несучих конструкцій при внесенні цієї інформації в відповідну нормативну документацію по розрахунку вогнестійкості і вогнезбереження конструкцій і споруд. Використання характеристик вогнестійкості і вогнезбереження, одержуваних за новими методиками, при розробці нових марок сталі з відповідним структурним станом - в сукупності з зазначеним вище - підніме рівень пожежостійкості різних споруд, що використовують сталеві несучі конструкції.

Ключові слова: вогнестійкість, вогнезбереження, елементи сталевих несучих конструкцій, алгоритм, лабораторні випробування

ON METHODS FOR DEFINITION OF FIRE RESISTANCE AND FIRE SAFETY OF STEEL ELEMENTS OF SUPPORTING CONSTRUCTIONS

GUL Yu. P.¹, *Cand. Sc. (Tech.), Associate professor*

IVCHENKO A. V.^{2*}, *Cand. Sc. (Tech.), Senior Research Officer*

KONDRATENKO P. V.^{3*}, *Graduate student*

CHMELEVA V. S.^{4*}, *Cand. Sc. (Tech.), Associate professor*

PERCHUNG. I.^{5*}, *Cand. Sc. (Tech.), Associate professor*

¹Department of metal heat treatment, National Metallurgical Academy of Ukraine, Gagarin Avenue, 4, 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-24-53, e-mail: kaf.tom@metal.nmetau.edu.ua, ORCID0000-0003-3754-7731

^{2*} Department of metal heat treatment, National Metallurgical Academy of Ukraine, Gagarin Avenue, 4, 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-24-53, e-mail: armst_2000@mail.ru, ORCID 0000-0002-4518-1744

^{3*} Department of metal heat treatment, National Metallurgical Academy of Ukraine, Gagarin Avenue, 4, 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-24-53, e-mail: achriman@yandex.ua, ORCID 0000-0003-2242-3496

^{4*} Department of metal heat treatment, National Metallurgical Academy of Ukraine, Gagarin Avenue, 4, 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-24-53, e-mail: kaf.tom@metal.nmetau.edu.ua

^{5*} Department of metal heat treatment, National Metallurgical Academy of Ukraine, Gagarin Avenue, 4, 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (0562) 46-24-53, e-mail: perchun_galina@ukr.net, ORCID 0000-0001-9013-4659

Annotation. Purpose. To substantiate the need to improve the methods for determining the characteristics of fire resistance and fire safety of steel elements of load-bearing structures and to propose new schemes for these methods. **Methodology.** Based on a comparative analysis of existing methods for determining the characteristics of fire resistance and fire safety and the actual conditions of thermal effects on steel elements of load-bearing structures in fires, new schemes of the considered techniques are developed and justified. **Findings.** New schemes of methods for determining fire resistance and fire safety characteristics in laboratory conditions that take into account the real conditions of thermal effects on steel elements of load-bearing structures in fires and the results of such impacts are presented. **Originality.** For the first time in the proposed methods, the actual formation of a stressed state in the steel elements of load-bearing structures is taken into account in fires and cooling conditions after them, the need to use: various loading schemes to determine the complex of properties; Different heating and cooling rates; Determination of not only the characteristics of the deformation resistance, but also the destruction; The determination of the latter not only at ordinary but also at low temperatures; Individual approach in determining the characteristics of fire resistance and fire safety, depending on the type of construction. **Practical value.** The proposed methods for determining the characteristics of fire resistance and fire safety, by definition, should ensure that substantially more adequate characteristics of the actual fire resistance and fire safety of steel elements

of load-bearing structures and, consequently, of the supporting structures themselves are made when this information is included in the relevant regulatory documentation on the calculation of fire resistance and fire safety of structures and structures. The use of fire resistance and fire safety characteristics obtained by new methods in the development of new steel grades with an appropriate structural state - in conjunction with the above - will raise the level of fire resistance of various structures using steel bearing structures.

Keywords: fire resistance, fire safety, elements of steel supporting structures, algorithm, laboratory tests

Введение

Проведение механических испытаний металлических объектов при повышенных температурах относительно комнатной давно используется на практике и регламентируется соответствующими стандартами. Но методика этих испытаний и определяемые при этом характеристики жаропрочности и теплостойкости: сопротивление ползучести и длительная прочность, - хотя и дают информацию о сопротивлении деформации и разрушению данного объекта при повышенных температурах в данных условиях нагружения, но существенно отличаются от условий и характеристик пожаростойкости. Поэтому использование указанных методик и характеристик не дает адекватные ХОст и Осх, последней тем более.

В тоже время, хотя проблеме пожаростойкости и определяемых при этом ХОст и Осх посвящено значительное количество работ (лишь малая выборка из них представлена в списке источников к нашей работе [1-15]), но можно обосновано констатировать, что как используемые методики определения ХОст и Осх, так и сами характеристики имеют низкий коэффициент корреляции с условиями термомеханических воздействий на СтЭНК при пожаре и его тушении, и – соответственно – с фактическими показателями пожаростойкости. Вполне очевидно, что такая ситуация не способствует ни разработке обоснованных нормативов расчета НК на Ост и ОСх, ни разработке новых экономнолегированных марок стали для СтЭНК с повышенными ХОст и Осх.

Таким образом, разработка новых методик определения ХОст и Осх, в большей степени коррелирующих с фактическими условиями пожара и его тушения, а также с определением возможности использования СтЭНК после пожара весьма актуальна. В данной работе представлены общие алгоритмы новых методик, полученных на аналитическом уровне.

Цель

На основе системного сопоставительного анализа используемых лабораторных методик определения ХОст и Осх СтЭНК и фактических условий термических воздействий на СтЭНК при пожарах и охлаждении при тушении предложить новые схемы указанных методик и определяемых по ним ХОст и Осх, которые более адекватны фактическим воздействиям на СтЭНК при пожарах и их тушении.

Методика

Материалом исследования служили доступные массивы информации, с одной стороны, о фактических условиях и параметрах воздействия на СтЭНК при пожарах и их тушении, а с другой – используемые в настоящее время методики определения ХОст и Осх. Путем системного сопоставления этих массивов информации выявляли различия (несоответствия, неучитываемость) между наиболее важными фактическими условиями, параметрами воздействия на СтЭНК при пожарах и их тушении и условиями, параметрами воздействия при определении ХОст и Осх по существующим методикам. Затем разрабатывали новые схемы методик, которые должны в максимально возможной степени учитывать реальные воздействия и их условия при пожарах и их тушении с возможностью осуществления этого учета в лаборатории. Предлагаемые новые процедуры определения ХОст и Осх обусловили также возможность предложить и новые типы таких характеристик, а также желательную последовательность определения ХОст и Осх и типы связей между этими характеристиками.

Результаты

1. Характеристики огнестойкости

Под ХОст понимают определяемые по заданному алгоритму параметры, используемые в расчетах НК на Ост, т.е. гарантирующие сохранение несущей способности (НС) при заданной интенсивности термического воздействия (ТВ) при пожаре. Принимается, что указанная гарантия соблюдается, если эксплуатационные напряжения (σ_3) при нагреве СтЭНК до заданной температуры не приводят к разрушению или недопустимой деформации. Обратим внимание, что значения $\sigma_3 > 0$ до пожара и, следовательно, при пожаре нагреваются уже напряженные СтЭНК. В известных же методиках стальные элементы или просто образцы из данной стали сначала нагреваются до различных температур и после выравнивающей температуры выдержки, подвергаются нагружению, как правило, по схеме одноосного растяжения до разрушения.

Получаемая информация, конечно, важна, но:

а) получена при других условиях последовательности нагружения и нагрева по сравнению с реальными;

б) потеря НС конструкции происходит в условиях когда значения предела текучести (σ_T) СтЭНК, уменьшающиеся в результате нагрева становится ниже σ_3 : $\sigma_T < \sigma_3$;

в) при пожаре скорость нагрева может быть различной и никто, конечно, не занимается выравниванием температуры в СтЭНК, почему наличие на практике температурного градиента, скорее правило, чем исключение, что подлежит учету при назначении режима нагрева в лаборатории;

г) для различных типов НК более опасными, чем одноосное растяжение, могут быть другие схемы нагружения, например, сжатие с опасностью потери устойчивости при продольном изгибе, поперечный изгиб и т.д., поэтому используемая схема нагружения перед нагревом должна быть индивидуализирована.

Значения температуры, при которой заданное значение σ , приводит только к макроупругой деформации (t_1) и температура, при которой σ , приводит к допустимой величине остаточной деформации СтЭНК (t_2) и есть определяемые по предлагаемой методике ХОст СтЭНК для заданных значений σ , и схем нагружения и допускаемых типов и величин деформации.

С учетом отмеченного выше общий предлагаемый алгоритм определения ХОст выглядит следующим образом: 1) выбор типа СтЭНК; 2) выбор схемы (схем) нагружения; 3) выбора значения (ий) σ ; 4) выбор общего температурного интервала нагрева и числа используемых температур в этом интервале; 5) выбор режимов нагрева; 6) нагружение СтЭНК до выбранного значения σ ; 7) нагрев нагруженного СтЭНК до заданных температур в выбранном общем интервале температур нагрева по заданному режиму; 8) осуществление выдержки после достижения температуры нагрева в течении заданного времени; 9) начиная с п. 6) до выполнения п. 8) включительно, осуществляется постоянная запись во время испытания изменения температуры СтЭНК с параллельной записью диаграммы деформации и разрушения (если последнее происходит) в координатах деформация СтЭНК – время нагрева до достижения заданной температуры и время выдержки после ее достижения; 9) на основе анализа полученных по п. 9) диаграмм определяются температуры: t_1 и t_2 .

2. Характеристики огнесохранности

Под термином “огнесохранность” в общем виде понимается сохранение какой-либо НС стальной конструкции и естественно, ее элементов – после пожара и его тушения, способности к дальнейшей эксплуатации с выполнением соответствующих функций. В практике проверка Оسخ в лабораторных условиях обычно основана на определении степени сохранения эксплуатационных свойств СтЭНК после нагрева и охлаждения.

ХОсх и ХОст органически связаны между собой. Во-первых, отсутствие при пожаре разрушения и недопустимой деформации НК еще не означает сохранение ее НС при дальнейшей “постпожарной” эксплуатации вообще в течение ранее (до пожара) заданного гарантийного срока эксплуатации в частности. Поэтому необходимо определять ХОсх с возможностью количественной оценки

гарантированной дальнейшей эксплуатации СтЭНК и ее сроков. Во-вторых, при определении ХОсх необходимо моделировать не только фактические условия нагрева при пожаре, как это при определении ХОст (см. раздел 1), но и при охлаждении (тушении пожара). Здесь подлежит также определенному учету возможность фазовых превращений в процессе охлаждения в зависимости от температуры начала охлаждения и режима этой операции. Конечно, изменение структурного состояния (СС) стали при нагреве влияет и на ХОст, но учет изменения СС принципиально важен для ХОсх, когда режим охлаждения формирует окончательное СС и – соответственно – комплекс свойств СтЭНК, определяющий возможность их дальнейшей эксплуатации.

Используемые известные методики определения ХОсх не учитывают реальных условий ни нагрева при пожаре (см. раздел 1), ни при его тушении, что подробно рассмотрено ниже.

В качестве свойств, определяемых как ХОсх, обычно используют значения сопротивления пластической деформации (предел текучести и прочности для схемы одноосного растяжения). В то же время не определяются: характеристики сопротивления разрушению различных типов, которые могут в результате нагрева и охлаждения существенно уменьшаться по сравнению с “допожарными” значениями.

С учетом вышеизложенного предлагается следующий алгоритм методики определения ХОсх СтЭНК: 1) определение ХОсх производится после определения ХОст для данной СтЭНК; 2) выбранный СтЭНК подвергается нагревам в общем температурном интервале его огнестойкости, ранее определенном по методике раздела 1; 3) указанным в п. 2) нагревам до каждой температуры подлежат несколько СтЭНК; 4) с каждой температуры нагрева СтЭНК охлаждаются с различными скоростями: от охлаждения на воздухе до охлаждения в воде; 5) охлажденные по п. 4) СтЭНК подвергаются комплексным испытаниям с определением свойств сопротивления деформации и разрушению в соответствии с условиями эксплуатации данной НК; 6) путем сравнения результатов испытаний по п. 5) с исходными свойствами СтЭНК до смоделированных воздействий факторов пожара и его тушения определяют степень огнесохранности по данному свойству через коэффициент $K_{сх} \leq 1$ с указанием температуры нагрева (t_n) и скорости последующего охлаждения (типа охлаждающей среды); при этом, за значение t_n принимается наибольшая температура, при которой $K_{сх}$ еще равен единице.

Например, запись $\sigma_T^{600} = 500 / Вз$ означает, что ХОсх по пределу текучести со значением 500 МПа сохраняется до температуры 600 °С включительно с последующим охлаждением до комнатной температуры на воздухе и $K_{сх} = 1$. В других случаях указывается значение $K_{сх}$ меньше единицы; 7) получаемые наибольшие температурные значения

ХОсх для $K_{сх} = 1$ сравниваются со значениями ХОст: t_1 и t_2 . Если значения $t_{Осх} \geq t_1$, то значения ХОст обеспечивают не только сохранение НС при пожаре, но и ее работоспособность после тушения пожара. Если же $t_{Осх}$ существенно ниже t_1 , то за огнестойкость НК следует принять значение $t_{Осх}$; 8) методика количественного прогноза гарантийного срока эксплуатации СтЭНК по полученным ХОсх требует дальнейшего обсуждения и разработки с включением характеристик деградации СС СтЭНК вследствие пожара и его тушения, а также оптимизации режимов принудительного тушения.

Научная новизна и практическая ценность

Впервые предложено конкретное решение частной проблемы увеличения степени корреляции ХОст и Осх СтЭНК с фактическими величинами этих показателей на основе использования основных принципов решения общей проблемы соответствия свойств объектов, получаемых в лабораторных условиях их фактическим свойствам при реальных условиях эксплуатации. При этом внимание обращено на важность соблюдения определенной последовательности определения ХОст и Осх и сопоставительного анализа значений определяемых величин. Можно обосновано полагать, что предложенные алгоритмы методик после их экспериментальной проверки в сопоставлении с ранее используемыми, - приведут к формированию базы данных новых ХОст и Осх, а использование этих данных обеспечит большую надежность расчетов Ост и Осх СтЭНК и создание новых марок стали для СтЭНК с новыми технологиями их

упрочнения, как основу повышения уровня Ост и Осх СтЭНК.

Выводы

1. Показано, что существующие методики определения ХОст и Осх СтЭНК практически не учитывают ряд важнейших фактических условий термомеханических воздействий в результате пожара (нагрев) и его тушения (охлаждение), наиболее опасные схемы нагружения для конкретных типов несущих конструкций и необходимый уровень всех механических свойств, обеспечивающий возможность послепожарной эксплуатации СтЭНК.

2. Предложены общие алгоритмы новых методик определения ХОст и Осх с существенно большим учетом перечисленных выше факторов, что должно обеспечить большее приближение ХОст и Осх к их фактическим значениям для СтЭНК.

3. Установлено, что ХОст и Осх тесно связаны и определяют во многом друг друга, что ранее не подвергалось анализу. Так, определяемый температурный интервал огнестойкости полностью определяет соответствующий интервал при испытаниях на огнесохранность. Поэтому определение ХОст должно всегда предшествовать определению ХОсх. С другой стороны, вполне возможны случаи, когда именно значения ХОсх будут определять температурный интервал огнестойкости.

4. Следующим этапом развития и уточнения новых методик определения ХОст и Осх в сопоставлении с существующими является их экспериментальная проверка.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пожежна безпека: теорія і практика: збірник наукових праць. – Черкаси: АПБ. ім. Героїв Чорнобиля, 2013. - №13. – 159с.
2. Козлов А.В. Огнестойкость стального проката // Производство проката, 2004. - №9. – с. 40 – 47.
3. Милованов А.Ф. Стойкость железобетонных конструкций при пожаре. М.: Стройиздат, 1998. 296с.
4. Кузнецова И.С., Рябчикова В.П., Саврасов И.В. Огнестойкая арматура – Миф или реальность? // Специализированный каталог пожарной безопасности, 2017 – с. 66 – 69.
5. СТО 36554501-006-2006 Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций. М.: ФГУП “НИЦ” Строительство. 2006.
6. Omer E., Izzudin B.A. and Elghazori A.Y. Failure assessment of simply supported floor slabs under elevated temperature // Structural Engineering International. – V.16. - №2. – pp. 148-155.
7. BS 5950-8. British Standard: Structural use of steel work in building – Part 8: Code practice for fire resistant desing. british Standart Institution, 2003.
8. Santiago A., Da Silva L.S., Real P.V., Vaz G., Lopes A.G. Experimental evaluation of the influence typology on behavior of steel structures under fire // Engineering Journal. 2009. –V. 46. - №2. – pp. 81-98.
9. A. Saedi Daryan, M. Yahyai Behavior of bolted top-set angle connections in fire // Journal of Constructional Steel Research. – 2009. – V. 65. – pp. 531-541.
10. Hanus F., Zilli G., Franssen J-M Behavior of Grade 8.8 bolts under natural fire conditions – Test and model // Journal of Constructional Steel Research. – 2011. – V. 67. – pp. 1292-1298.
11. Nicolaou J., Papadimitriou G.D. Microstructures and mechanical properties after heating of reinforcing 500 MPa class weldable steel produced by various processes // Construction and Building Materials. – 2004. – V. 18. - №4. – pp. 243-254.
12. Ивченко А.В. Огнесохранность холоднодеформированного арматурного проката класса В500С / А.В. Ивченко, Ю.П. Гуль, Р.В. Панков, П.В. Кондратенко // Бетон и железобетон в Украине. – 2015. – №5. – с. 24-29.
13. Ивченко А.В. Огнесохранность холоднодеформированного арматурного проката / А.В. Ивченко, Ю.П. Гуль, А.С. Якушев, В.Ф. Коваленко, И.П. Саврасов, М.С. Востров // Металлургическая и горнорудная промышленностью 2017. - №1. – с. 71-76.
14. Кузнецова И.С. Исследование физико-механических свойств арматуры современного производства при высокотемпературном нагреве и охлаждении / Кузнецова И.С., Суриков И.Н., Востров М.С., Саврасов И.П. // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 12. С. 18-23.

15. Тихонов И.Н. Современное состояние, перспективы производства и применения холоднодеформированного арматурного проката в строительстве / Тихонов И.Н., Кузнецова И.С., Мешков В.З., Цыба О.О., Харитонов В.А. // Промышленное и гражданское строительство. 2017. - № 1. С. 71-77.

REFERENCES

1. Pozhezhna bezpeka: teoriya i praktyka: zbirnyk naukovykh prats' [Fire safety: theory and practice: scientific research journal]. – Cherkassy: APB. im. Heroyiv Chornobylya [Cherkassy Institute of Fire Safety named after Heroes of Chornobyl], 2013. - №13. – 159 p.
2. Kozlov A.V. *Ognestoykost' stal'nogo prokata* [Fire resistance of rolled steel] // *Proizvodstvo prokata* [Rolled metal production], 2004. - №9. – pp. 40 – 47. (in Russian).
3. Milovanov A.F. *Stoykost' zhelezobetonnykh konstruksiy pri pozhare* [Resistance of reinforced concrete structures in case under fire]. Moscow.: Stroyizdat, 1998. 296 p. (in Russian).
4. Kuznetsova I.S., Ryabchikova V.P., Savrasov I.V. *Ognestoykaya armatura – Mif ili real'nost'?* [Fire-resistant reinforcement - Myth or Reality?]/// *Spetsializirovannyi katalog pozhar'naya bezopasnost'* [Specialized catalog fire safety], 2017 – pp. 66 – 69. (in Russian).
5. SRT 36554501-006-2006. *Pravila po obespecheniyu ognestoykosti i ognesokhrannosti zhelezobetonnykh konstruksiy*. [Rules for ensuring fire resistance and fire safety of reinforced concrete structures]. Moscow, JSC Research Center of Construction, 2006, 78 p. (in Russian).
6. Omer E., Izzudin B.A. and Elghazori A.Y. Failure assessment of simply supported floor slabs under elevated temperature // *Structural Engineering International*. – V.16. - №2. – pp. 148-155.
7. BS 5950-8. British Standart: Structural use of steel work in building – Part 8: Code practice for fire resistant desing. british Standart Institution, 2003.
8. Santiago A., Da Silva L.S., Real P.V., Vaz G., Lopes A.G. Experimental evaluation of the influence typology on behavior of steel structures under fire // *Engineering Journal*. 2009. –V. 46. - №2. – pp. 81-98.
9. A. Saedi Daryan, M. Yahyai Behavior of bolted top-set angle connections in fire // *Journal of Constructional Steel Research*. – 2009. – V. 65. – pp. 531-541.
10. Hanus F., Zilli G., Franssen J-M Behavior of Grade 8.8 bolts under natural fire conditions – Test and model // *Journal of Constructional Steel Research*. – 2011. – V. 67. – pp. 1292-1298.
11. Nicolaou J., Papadimitriou G.D. Microstructures and mechanical properties after heating of reinforcing 500 MPa class weldable steel produced by various processes // *Construction and Building Materials*. – 2004. – V. 18. - №4. – pp. 243-254.
12. Ivchenko A.V., Gul' YU.P., Pankov R.V., Kondratenko P.V. *Ognesokhrannost' kholodnodeformirovannogo armaturnogo prokata klassa V500S* [Fire safety of cold-formed reinforcing bars of class B500C] // *Beton i zhelezobeton v Ukraine*[Concrete and reinforced concrete in Ukraine]. – 2015. – V.5. – pp. 24-29. (in Russian).
13. A.V. Ivchenko, YU.P. Gul', A.S. Yakushev, V.F. Kovalenko, I.P. Savrasov, M.S. Vostrov *Ognesokhrannost' kholodnodeformirovannogo armaturnogo prokata* [Fire safety of cold-worked reinforcing bar] // *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'* [Metallurgical and mining industry]. 2017. - №1. – pp. 71-76. (in Russian).
14. Kuznetsova I.S., Surikov I.N., Vostrov M.S., Savrasov I.P. *Issledovaniye fiziko-mekhanicheskikh svoystv armatury sovremennoogo proizvodstva pri vysokotemperaturnom nagreve i okhlazhdenii* [Investigation of the physical and mechanical properties of modern production fittings under high-temperature heating and cooling] // *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo* [Industrial and civil construction]. - 2016. – V.12. – pp. 18-23. (in Russian).
15. Tikhonov I.N., Kuznetsova I.S., Meshkov V.Z., Tsyba O.O., Kharitonov V.A. *Sovremennoye sostoyaniye, perspektivy proizvodstva i primeneniya kholodnodeformirovannogo armaturnogo prokata v stroitel'stve* [Current state, prospects of production and use of cold-formed reinforcing bars in construction]// *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo* [Industrial and civil construction]. 2017. - № 1. pp. 71-77. (in Russian).

Статья рекомендована к публикации д-рами техн. наук, В.И. Большаковым и Д.В. Лаухиным (Украина)