

УДК 669.715:669:717

DOI: 10.15393/j2.art.2019.4462

Статья

Характеристики алюминиевых сплавов для строительных конструкций в европейских стандартах

Борис Н. Ягнюк^{1, *}

¹ Петрозаводский государственный университет, Россия, 185910, г. Петрозаводск, пр. Ленина, д. 33; E-Mail: yagnyuk@petrstu.ru (Б. Я.)

* Автор, с которым следует вести переписку; E-Mail: yagnyuk@petrstu.ru (Б. Я.);
Tel.: +7 911 4084934

Получена: 5 марта 2019 / Принята: 26 марта 2019 / Опубликовано: 7 апреля 2019

Аннотация: Рассмотрены обозначения и некоторые характеристики алюминиевых сплавов, приведённых в европейских стандартах на изготовление и проектирование строительных конструкций, показаны состояния сплавов и особенности формирования перечня сплавов в стандарте EN 1999 на проектирование строительных алюминиевых конструкций — Еврокод 9.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, строительство, европейские стандарты, характеристики, Еврокод 9.

DOI: 10.15393/j2.art.2019.4462

Article

Aluminium alloys characteristics used for building structures in European Standards

Boris Yagnyuk^{1, *}

¹ Petrozavodsk State University, Russia, 185910, Petrozavodsk, Lenin Street, 33; E-Mail: yagnyuk@petsu.ru (B. Ya.)

* Author to whom correspondence should be addressed; E-Mail: yagnyuk@petsu.ru (B. Ya.); Tel.: +7-911-408-49-34

Received: 05 March 2019 / Accepted: 26 March 2019 / Published: 7 April 2019

Abstract: The article considers the main characteristics of aluminium alloys that are introduced in European Standards for fabrication and design of building structures. States of aluminium alloys and some features of alloys list compilation in EN 1999 (Eurocode 9) for structural design of aluminium building structures are presented.

Keywords: aluminium alloys, building structures, European Standards, alloys characteristics, Eurocode 9.

1. Введение

Для решения вопросов гармонизации российских и европейских стандартов на стали и алюминиевые сплавы важной задачей является знание и понимание характеристик, которые присущи европейским материалам. Это актуально и в связи с развитием международных отношений в области экономики и строительства, когда всё более проявляется интерес к характеристикам материалов, используемых в развитых странах Европы, и в т. ч. металлических строительных материалов: сталей и алюминиевых сплавов [1], [2], [3].

Проектированию строительных конструкций из алюминиевых сплавов в странах Европейского союза посвящен стандарт EN 1999 (Еврокод 9), который, в свою очередь, опирается на целый ряд других Европейских стандартов, посвященных материалам — алюминиевым сплавам, применяемым в строительстве.

В Европейских стандартах EN 755-2 (прессованные профили), EN 485-2 (листы), EN 586-2 (поковки) и EN 1706 (отливки) приводится большое количество различных сплавов. Многие из них используются весьма редко и только в специальных целях. Причина включения в стандарты такого большого количества сплавов обычно связана с простым способом их «изобретения», заключающегося в добавлении или чередовании их составных химических элементов.

Такие сплавы часто являются идеальными для специального их использования там, на что направлены эти характеристики. Так, в EN 755-2 (выпущенном в 2008 г.) представлено 57 сплавов, в EN 485-2 (выпущенном в 2007 г.) — 47, в EN 586-2 (изданном в 1997 г.) — 6 и в EN 1706 (изданном в 1998 г.) — 37 сплавов.

Помимо прессованных полуфабрикатов, приведённых в таблице 3.2b EN 1999-1-1 [4], там также перечислены холоднодеформированные трубы, для которых, в принципе, существует свой отдельный стандарт — EN 754 (холодотянутые стержни и трубы). Количество сплавов, приведённых в этом стандарте, 32, что значительно меньше, чем количество основных сплавов в EN 755, но по требованиям стандартизации они добавлены и в него.

По нашему мнению, нет смысла предлагать так много разных марок алюминиевых сплавов для строительных конструкций. Проектировщик не сможет быстро выбрать лучший по техническим характеристикам сплав. На второй важный вопрос, касающийся экономической доступности сплава на рынке, ему также трудно будет ответить, как и на вопросы, касающиеся свариваемости, коррозионной устойчивости и др. Поэтому Еврокод 9 по сравнению со стандартами, приведёнными нами выше, содержит меньшее число марок сплавов.

Необходимо также отметить, что для проектирования строительных конструкций в Еврокоде 9 рекомендовано значительно меньшее, чем в общих европейских стандартах, количество сплавов с высоким содержанием меди, снижающей коррозионные свойства конструкции.

Ситуация с литейными сплавами значительно проще, поскольку до принятия Еврокода 9 рекомендаций по проектированию строительных конструкций из литейных сплавов в европейских документах по строительным конструкциям просто не приводилось.

Целями нашего исследования являются:

- Рассмотрение характеристик алюминиевых сплавов, приведённых в европейском стандарте EN 1999 (Еврокод 9) для возможного их использования российскими инженерами как при международных контактах, так и самостоятельно в случае применения этого прогрессивного материала в строительных конструкциях.
- Разработка практических рекомендаций по выбору алюминиевых сплавов и полуфабрикатов из них, имеющих на европейском рынке и используемых для изготовления строительных конструкций.

2. Сплавы, используемые для изготовления полуфабрикатов методом деформирования

Ещё в проекте стандарта EN 1999-1-1, выпущенного в 1998 г., были перечислены всего 11 таких сплавов, и это не создавало трудностей при выборе подходящего сплава при проектировании. При принятии EN 1999-1-1 было добавлено еще три сплава, рекомендованных для строительных конструкций: EN AW-5049 (AlMg₂Mn_{0,8}), EN AW-6106 (AlMgSiMn) и EN AW-8011A (AlFeSi(A)). Затем их число увеличилось до 17 (таблица) [5] и причина этого — появление новой части Еврокода 9, а именно EN 1999-1-4, в которой рассматриваются вопросы проектирования профилированных листов, для которых требуются другие сплавы.

Три из них были представлены и в EN 1999-1-1, т. к. они могут использоваться не только для листовых конструкций, а три другие приведены только в части 4 Еврокода 9 [6]. Это сплавы EN AW-3003 (AlMn₁Cu), -3105 (AlMn_{0,5}Mg_{0,5}), -5251 (AlMg₂). С точки зрения проектирования такое количество сплавов уже достаточно большое, но их присутствие в документе связано с тем, что они давно появились на рынке, утверждены органами власти и отказ от них проходил бы достаточно болезненно.

К ситуации, аналогичной описанной в предыдущем пункте относительно перечня сплавов, относится и ситуация, связанная с состоянием поставки полуфабрикатов. При попытке учёта всех возможных состояний поставки проектировщик попадает в сложное положение при выборе подходящего сплава, т. к. состояний поставки полуфабрикатов из них приводится слишком много.

Поэтому целесообразно обращать внимание на характеристики состояний, которые наиболее часто использовались в прошлом. В дополнение к состояниям O/H111 относятся и состояния H12, H14, соответствующие частично отожжённым полуфабрикатам для закалённых материалов. Повышенная прочность полуфабрикатов достигается путём закалки, что характерно для состояний поставки H16 и H18, но их применения, в принципе, надо избегать, т. к. изготовление профилей из них путём пластического деформирования не всегда

возможно. Состояния H16/H26/H36 получены сравнительно недавно и предназначены, в первую очередь, для конструкций с тонкой стенкой в виде профилированного настила.

Таблица. Сплавы для изготовления прокатных и прессованных сечений (EN 1999-1-1).
 Alloys used for rolled and extrusion sections (EN 1999-1-1)

Обозначение сплава		Вид полуфабриката	Долговечность
Цифровое	Химические элементы		
EN AW-3004	EN AW — AlMnJMg1	SH, ST, PL	A
EN AW -3005	EN AW — AlMnMg0,5	SB, ST, PL	A
EN AW-3103	EN AW — AlMn1	SH, ST, PL, ET, EP, ER/B	A
EN AW-5005 / 5005A	EN AW — AlMg1(B)/(C)	SH, ST, PL	A
EN AW-5049	EN AW — AlMg2Mn0,8	SH, ST, PL	A
EN AW-5052	EN AW — Al Mg2,5	SH, ST, PL, ET ²⁾ , EP ²⁾ , ER7B, DT	A
EN AW -508 3	EN AW — Al Mg4,5Mn0,7	SH, ST, PL, ET ²⁾ , EP ²⁾ , ER/B, DT, FO	A ¹⁾
EN AW-5454	EN AW — Al Mg3Mn	SH, ST, PL, ET ²⁾ , EP ²⁾ , ER/B	A
EN AW-5754	EN AW — Al Mg3	SH, ST, PL, ET ²⁾ , EP ²⁾ , ER/B, DT, FO	A
EN AW-6060	EN AW — Al MgSi	ET, EP, ER/B, DT	B
EN AW-6061	EN AW — Al Mg1SiCu	SH, ST, PL, ET, EP, ER/B, DT	B
EN AW-6063	EN AW — Al Mg0,7Si	ET, EP, ER/B, DT	B
EN AW-6005A	EN AW — Al SiMg(A)	ET, EP, ER/B	B
EN AW-6082	EN AW — Al Si IMgMn	SH, ST, PL, ET, EP, ER/B, DT, FO	B
EN AW-6106	EN AW — AlMgSiMn	EP	B
EN AW-7020	EN AW — Al Zn4,5Mg1	SH, ST, PL, ET, EP, ER/B, DT	C
EN AW-8011A	EN AW — AlFeSi	SH, ST, PL	B

Обозначения: SH — Листы (EN 485) ST — Полосы (EN 485) PL — Пластины (EN 485) ET — Прессованные трубы (EN 755) EP — Прессованные профили (EN 755) ER/B — Прессованные стержни (EN 755) DT — Вытянутые трубы (EN 754) FO — Кованые детали (EN 586)
¹⁾ См. приложение C: C2.2.2(2)
²⁾ Только простые, сплошные сечения (открытого профиля), прессованные сечения или толстостенные трубы
³⁾ См. п. 4, приложения C и D

Правила проектирования элементов с тонкой стенкой (профнастила), в основном, требуют использования листового материала с условным пределом текучести более 165 Н/мм². Это означает, что целый ряд сплавов, перечисленных в EN 1999-1-4, в состояниях поставки типа H18 или соответствующих ему H28/H38/H48 не должны использоваться для других конструкций. То есть такой жёсткий материал не может быть рекомендован, и, как правило, эти состояния не представлены в стандарте EN 1999-1-1 (однако такие материалы являются

технологичными для изготовления профилированных листов и представлены в EN 1999-1-4, поскольку есть станки, способные производить сложные сечения из таких сплавов методом гнутья, например, листы трапецеидального профиля и др.).

Стоит также отметить, что в стандартах, относящихся к алюминиевым сплавам, приводятся характеристики сплавов, пригодных конкретно для изготовления листов или пластин, а также для прессованных профилей. Поэтому в Еврокоде 9 приводится ограниченное количество сплавов, которые стандартизированы для листов и профилей одновременно и целесообразны для применения в строительных конструкциях. Такими сплавами являются EN AW-5454, EN AW-5754, EN AW-5083, EN AW-6061, EN AW-6082 и EN AW-7020 (6 из 17 сплавов, приведённых в документе). Так как способность к формообразованию во время процесса прессования для сплавов EN AW-5083, -5454 и -5754 является недостаточной и получать методом прессования из них можно только основные виды сплошных, а не пустотелых сечений, количество «универсальных» сплавов уменьшается до трёх. Это, по крайней мере, даёт возможность использовать не только какой-то один сплав для строительных целей, а набор сплавов, что является нормальным в практике строительного проектирования.

Таким образом, мы можем отметить, что EN 1999-1-1 предлагает достаточный набор сплавов и состояний поставки полуфабрикатов для использования в строительных конструкциях. Диапазон условных пределов текучести для сплавов, приведённых в EN 1999, начинается с EN AW-5005 O, равный 35 Н/мм^2 , и доходит до 290 Н/мм^2 у сплава EN AW-7020 T6. Сплавы с низкой прочностью не всегда могут использоваться для строительных конструкций, но могут применяться в случаях, когда требуются специальные элементы с повышенной характеристикой пластичности. Сплавы с высокими прочностными характеристиками, например 290 Н/мм^2 для EN AW-7020 или 260 Н/мм^2 для EN AW-6082, 280 Н/мм^2 для EN AW 5083, имеют условные пределы текучести, которые даже превышают аналогичные характеристики для стали С235. Высокими прочностными характеристиками обладают сплавы EN AW-6060/6063, и они широко применяются как сплавы для изготовления прессованных профилей, их использование в конструкциях является экономически оправданным вследствие их высокой прочности. Но часто в строительстве оказывается достаточным применения сплавов с невысокими характеристиками по прочности, например $140\text{—}160 \text{ Н/мм}^2$, и этой прочности будет вполне достаточно для решения строительных проблем.

Ответить на вопрос, почему EN 1999-1-1 не содержит хорошо известных высокопрочных сплавов, таких как EN AW-7075 (AlZn5, 5MgCu) или EN AW-2024 (AlCu4Mg1) с пределами текучести $560 \text{ Н/мм}^2\text{—}450 \text{ Н/мм}^2$, широко используемых для строительства самолётов, достаточно просто: EN 1999 — документ, созданный для проектирования строительных конструкций зданий, которые, как известно, не подвергаются такой тщательной проверке по состоянию развития коррозии, как воздушные корабли. Следовательно, применение для них алюминиевых сплавов, содержащих медь, может привести к ускорению процесса коррозии

и выходу из строя алюминиевых элементов каркаса. Известно, что сплавы, содержащие медь, несмотря на их высокую прочность, имеют меньшую коррозионную устойчивость.

В таблице, приведённой нами из стандарта EN 1999-1-1, видно, что с одним исключением в отношении долговечности все сплавы относятся к классу А и В. Исключение составляет сплав EN AW-7020, что связано с особенностями его поведения в процессе сварки, когда происходит разрушение защитного слоя на его поверхности, что может активизировать коррозию, особенно в условиях агрессивной среды и конструктивного решения, с наличием пазух и полостей. Такое поведение не подтверждается у других сплавов, относящихся к сериям 7xxx и 2xxx, даже при высоком проценте содержания в них меди.

Похожая ситуация возникает и для отдельных состояний поставки сплава EN AW-5083 при воздействии неблагоприятных температур, что вызывает в нём межкристаллическую коррозию. Поэтому мы находим в таблице 3.1а EN 1999-1-1 сноску на пункт С.2.2.2(2) в приложении С документа, где приводится дополнительная информация. Но в случае с EN AW-5083 долговечность его не была понижена до уровня В или С, как это сделано в случае с EN AW-7020.

Для строительства чаще всего используются следующие сплавы:

- EN AW-6082, EN AW-6061 и EN AW-7020 (реже) для конструкций из стержневых и листовых элементов, проектируемых обычно из одного сплава;
- EN AW-5083 и EN AW-5754 для конструкций и их элементов из листа, а также в конструкциях из стержней и листов, причём с возможностью использования разных сплавов для этих элементов;
- EN AW-6060 и EN AW-6063 для стержневых конструкций, а также для конструкций, состоящих из стержней и листов, выполненных из других сплавов, чем стержни.

3. Литейные сплавы

В Проекте Европейского стандарта EN 1999, выпущенного в 1998 г., было приведено только 5 сплавов, и, видимо, поэтому этот документ был достаточно быстро принят.

При его принятии были некоторые возражения против сплава EN AC-43200, в связи с высоким процентом содержания в нём железа (0,65 %) и меди (0,35 %), поэтому впоследствии он был заменён сплавом EN AC-43300, имеющим пониженное содержание этих двух элементов и более высокие характеристики по прочности и пластичности при использовании тех же легирующих элементов. По тем же причинам сплав EN AC-44100 был заменён сплавом EN AC-44200: содержание меди и железа в этом сплаве ниже, чем в упомянутом выше.

Сплав EN AC-43000 является очень экономичным, поэтому он часто используется в дополнение к рассмотренным, особенно в состоянии поставки F.

В стандарте рекомендованы самые обычные формы для литья (литьё в землю или литьё в кокиль), при использовании которых легко получить требуемые состояния поставки полуфабрикатов из сплавов, с хорошими характеристиками прочности, по условному

пределу текучести при относительном удлинении 0,2 %, для стандартного образца пятикратной длины по отношению к поперечному размеру сечения.

4. Механические характеристики сплавов

Основные механические характеристики алюминиевых сплавов приведены в EN 1999-1-1 в форме таблиц 3.2a (деформируемые сплавы — листы, полосы, пластины), 3.2b (прессованные профили — стержни, трубы), 3.2c (поковки из деформируемых сплавов).

В таблице 3.2a приводятся нормативные значения условного предела текучести (f_0), предела прочности (f_u), состояние поставки полуфабрикатов (temper), минимальные деформации для растянутого образца (A_{50} — это означает, что испытаниям подвергаются образцы постоянной длины, установленной в EN 485-2, которые не связаны с их толщиной, т. е. более тонкие образцы дадут большую величину деформаций, которая и приводится в таблице. Детальная информация отражена в стандарте EN 485-2). Там же приводятся коэффициенты снижения прочности при нагревании в процессе сварки полуфабрикатов (HAZ-factor), величины n , которые используются в формулах для расчёта с учётом пластических деформаций, и классы по отношению к устойчивости конструкции, выполненной из такого сплава (A, B).

В таблице 3.2b приводятся те же характеристики для прессованных профилей, выполненных как без сварки, так и с её участием, когда необходимо учитывать снижение прочности (коэффициенты HAZ).

В таблице 3.2c, наряду с рассмотренными выше характеристиками, минимальные удлинения растянутого образца приводятся как $A = A_{5,65}/A_0$ и представлены механические характеристики как вдоль образца, так и в поперечном направлении сечения.

5. Выводы

В европейском стандарте EN 1999 (Еврокод 9) приводится 17 деформируемых и 6 литейных сплавов, что даёт более широкие возможности для проектировщика при их применении по сравнению со Сводом правил СП 128 [4], используемым в России, где общее число сплавов составляет 13.

EN AW-6082 и -6061 являются классическими представителями алюминиевых сплавов, их характеристики соответствуют характеристикам мягкой конструкционной стали и позволяют инженерам работать с ними по тем же правилам, что и со сталью. Полуфабрикаты из этих сплавов стандартизованы для листов и профилей.

EN AW-6061 содержит больше меди, что может влиять на внешний вид сплава и его свариваемость, но это зависит от её фактического содержания в партии металла.

EN AW-7020 также стандартизирован для изготовления листов и профилей. Он имеет высокие значения по прочности, перечисленные в стандарте EN 1999-1-1. В связи с тем, что необходимая скорость для проведения закаливания полуфабрикатов из этого сплава

невелика, в нём, в процессе сварки, естественным образом повышается прочность. Полуфабрикаты из этого сплава имеют относительно высокую стоимость. Они часто используются для проектирования мостов, а также для крановых и других ответственных конструкций. В зависимости от его применения часто выполняется повторный процесс закалки элементов после выполнения сварочных работ, ведущих к разупрочнению.

Типичные сплавы для выполнения прессованных профилей — это сплавы EN AW-6060 и аналогичные ему EN AW-6063. Листы из этих сплавов не производятся. Они имеют средние значения по прочности и часто анодируются в декоративных целях. Это позволяет выполнять производство очень сложных прессованных профилей при умеренных затратах, т. к. процесс прессования выполняется на высокой скорости, а закалка осуществляется на воздухе. В Европе используются оба сплава. Сплавы 6060 и 6063 являются аналогами отечественного сплава АД31 по ГОСТ 4784 и могут применяться наравне с ним. К их семейству принадлежит и сплав EN AW-6106, который имеет лучшие характеристики по свариваемости, но декоративные характеристики, относящиеся к его анодированию, не всегда гарантируются.

EN AW-5083 и EN AW-5754 являются сплавами «универсальными», но, в основном, применяются для проектирования конструкций из листа. Они стандартизованы и годятся для прессования, но редко используются для этих целей, т. к. их высокая прочность позволяет получать профили только сплошного сечения, а также бесшовные трубы с достаточно толстыми стенками.

EN AW-5049, -5052, -5454 и EN AW-6005A не очень часто используются для изготовления строительных конструкций, т. к. их применение ограничивается специальными рекомендациями производителей профилей. Три сплава из серии 5xxx объединяют характеристики прочности с высокой устойчивостью против коррозии. EN AW-6005 сочетает прочность с хорошей характеристикой по формообразованию прессованных профилей, и это даёт возможность использовать элементы сложных сечений, выполненные из него.

Сплавы EN AW-3004, -3005, -3103, -5005 и -8011 являются типичными сплавами для изготовления профилированных настилов с небольшой толщиной листа, пригодными для кровли и обшивки стен.

Часто сплавы этой группы используются для декоративной обшивки фасадов (анодированных, органических покрытий). Если такое решение для фасада принято, то надо знать, что оно потребует достаточно большого количества материала, и тогда следует внимательно подойти к выбору сплава с учётом его стоимости.

6. Практические рекомендации по выбору сплавов на европейском рынке

При проектировании строительных конструкций из стали проектировщику не приходится беспокоиться о наличии тех или иных первичных стальных профилей, которые он намерен использовать при создании конструкции. Он может быть уверен, что при использовании

малоуглеродистых сталей, например С235, С245, никаких проблем в области приобретения профилей не будет: на рынке всегда имеется достаточное количество стандартных стальных профилей. С алюминиевыми сплавами ситуация сильно отличается. Лист малых и средних размеров (до 1500 × 3000 мм) доступен всегда, но наличие полуфабрикатов из сложных сплавов и состояний поставки всегда ограничено. Сплавы EN AW-5083, -5754 и -6082 обычно доступны, однако большинство других материалов или специальные размеры элементов необходимо заказывать, в связи с чем увеличивается время доставки полуфабрикатов заказчику. Для вышеупомянутых легкодоступных полуфабрикатов из сплавов минимальные заказы одинаковой толщины должны составлять не менее 10 т. Листовые профили, которые не так широко используются, приходится заказывать массой от 30 до 50 т.

С профильными элементами ситуация иная. Причина этого заключается в том, что алюминиевые профили изготавливаются как прессованные, а стальные (в основном) горячекатаные. Процедура прессования и матрица, используемая для создания сечения, не очень дорогие. Замена матрицы занимает немного времени, поэтому заказ может быть небольшим, но зависит и от размеров сечения, обычная масса заказа может составлять от 200 до 3000 кг. Это приводит к тому, что большинство инженеров разрабатывают свои собственные сечения, оптимально адаптированные к специфическим требованиям конструкции для каждого случая. Это даёт значительное снижение стоимости в связи с уменьшением веса партии. Сечению профиля придаётся его оптимальная форма в соответствии с назначением, а расходы на дальнейшую обработку профиля при этом уменьшаются.

Такой подход, благодаря процессу прессования, дал алюминию большие преимущества, но также создал и недостаток. Набор сечений, предлагаемый на рынке, весьма ограничен и сводится к простым сечениям небольшого поперечного размера. Из сплавов на европейском рынке предлагаются, как правило, EN AW6060, реже — -6082. Найти сечение большого размера даже из этих сплавов бывает нелегко.

Лучше обстоит дело с трубчатыми профилями, что необходимо учитывать инженеру-проектировщику, или необходимо создавать для определённых конструкций конкретные сечения. При этом необходимо знать максимальные допускаемые размеры поперечных сечений полуфабрикатов, которые зависят от производственных мощностей предприятий, их поставляющих.

Листы и пластины могут изготавливаться шириной свыше 3 м и длиной до 22 м. Точные границы могут зависеть от толщины листа и марки сплава. Производством листов длиной до 10 м и шириной приблизительно 2 м занимается значительно большее количество изготовителей, но необходимо иметь в виду, что наличие у производственных предприятий прессов с рабочей шириной 16—20 м ограничено.

Ограничение прессованных полуфабрикатов по длине составляет 30 м, такая длина может реализовываться только для профилей надлежащей жёсткости с возможностью последующей

транспортировки. Нормальные длины составляют 6—10 м. Обычная длина штока прессы, используемого для создания прессованных профилей, 6 м. Проектируемое сечение должно вписываться в окружность диаметром не более 600—800 мм.

Так как сечения профилей, полученные путём прессования, обычно меньше, чем образованные прокатным способом, проектировщики часто создают индивидуальные сечения не только с учётом несущей способности, но и с дополнительными функциями, полезными для создаваемой конструкции. При этом приходится соблюдать жёсткие требования по допускам, приведённым в европейском стандарте EN 12020 для профилей из сплавов AW-6060 и -6063, а для профилей из других сплавов — требования, отражённые в стандарте EN 755-9. Эти допуски должны согласовываться между проектировщиком и производителем полуфабрикатов из алюминиевых сплавов.

Список литературы

1. *Malinen, P. A.* Comparison of Structural Steel to Russian and European Standards / P. A. Malinen, B. N. Yagnyuk // Scientific Journal. — New York : Springer New York Consultants Bureau, 2002. — Vol. 44, № 1-2. — P. 86.
2. *Малинен, П. А.* Российские и европейские стали для металлических сварных конструкций / П. А. Малинен, О. В. Казачков, Б. Н. Ягнюк // Resources and Technology. — Петрозаводск : Петрозаводский университет, 2003. — № 4. — С. 78—81.
3. *Малинен, П. А.* Сопоставление строительных сталей по российским и европейским стандартам / П. А. Малинен, Б. Н. Ягнюк // Сб. трудов 5-го Собрания металлургов России, 10—13 сент. 2001 г. — Краснодар, 2001. — С. 339—341.
4. СП 128.13330.2012: Алюминиевые конструкции // Актуализированная редакция СНиП 2.03.06-85 / Минрегионразвитие. — Москва, 2011. — 173 с.
5. EN 1999-1-1: Eurocode 9: Design of aluminium structures, Part 1-1: General structural rules / European Committee for Standardization. — Brussels, 2007. — P. 209.
6. EN 1999-1-4: Eurocode 9: Design of aluminium structures, Part 1-4: Cold-formed structural sheeting / European Committee for Standardization. — Brussels, 2007. — P. 65.

References

1. *Malinen, P. A.* Comparison of Structural Steel to Russian and European Standards / P. A. Malinen, B. N. Yagnyuk // Scientific Journal. — New York : Springer New York Consultants Bureau, 2002. — Vol. 44, № 1-2. — P. 86.
2. *Malinen, P. A.* Russian and European steels for metal welded structures / P. A. Malinen, O. V. Kazachkov, B. N. Yagnyuk // Resources and Technology. — Petrozavodsk : Petrozavodsk State University, 2003. — № 4. — P. 78—81.
3. *Malinen, P. A.* Comparison of Structural Steels to Russian and European Standards / P. A. Malinen, B. N. Yagnyuk // Collected works of 5-th Russian metal investigators Meeting on 10—13 of September 2001. — Krasnodar, 2001. — P. 339—341.
4. Code of Practice 128.13330.2012: Aluminium alloys // Actualized reduction of СНиП 2.03.06-85 / Ministry of Region Development. — Moscow, 2011. — 173 p.

5. EN 1999-1-1: Eurocode 9: Design of aluminium structures, Part 1-1: General structural rules / European Committee for Standardization. — Brussels, 2007. — P. 209.
6. EN 1999-1-4: Eurocode 9: Design of aluminium structures, Part 1-4: Cold-formed structural sheeting / European Committee for Standardization. — Brussels, 2007. — P. 65.

© Ягнюк Б. Н., 2019