

## БЕСКАРКАСНЫЕ АРОЧНЫЕ ПОКРЫТИЯ ИЗ СТАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ ПРОФИЛЕЙ: ИСТОРИЯ, СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

**Введение.** Бескаркасные арочные покрытия из стальных тонкостенных холодногнутого профиля (СТХП) в настоящее время нашли широкое распространение во многих странах мира благодаря целому ряду преимуществ, в сравнении с традиционными кровельными системами, в числе которых:

- низкая материалоемкость и, соответственно, малый общий вес;
- простота и точность изготовления конструктивных элементов;
- сухая механизированная сборка и абсолютная водонепроницаемость конструкции;
- укороченные сроки строительства;
- долговечность со сроком эксплуатации до 40–50 лет при относительно низкой себестоимости;
- минимальные транспортные и невысокие сборочно-монтажные, а также эксплуатационные расходы.

Многообразие СТХП, используемых для возведения бескаркасных арочных покрытий, позволяет создавать эффективные конструктивные решения покрытий зданий и сооружений различных архитектурных форм, геометрических размеров и назначения [1].

В то же время в Республике Беларусь рассматриваемый тип покрытий нашел применение лишь в достаточно узкой области, а именно: при строительстве бескаркасных арочных сооружений ангарного типа преимущественно складского назначения. Одной из причин сложившейся ситуации является, на наш взгляд, недостаточная осведомленность заказчиков, застройщиков и проектировщиков о возможностях и перспективах данной технологии возведения покрытий.

В настоящей работе выполнен краткий аналитический обзор существующих видов сборных бескаркасных арочных покрытий и стальных тонкостенных профилей, используемых для их возведения, а также предпринята попытка их классификации по ряду геометрических и конструктивных особенностей.

**Особенности бескаркасных арочных покрытий из СТХП.** Рассматриваемые покрытия представляют собой специфический тип самонесущих пространственных кровельных систем в виде свода-оболочки, выполняющей одновременно ограждающие и несущие функции.

Основным конструктивным элементом таких покрытий (см. рис. 1) является изогнутый по продольной оси стальной тонкостенный

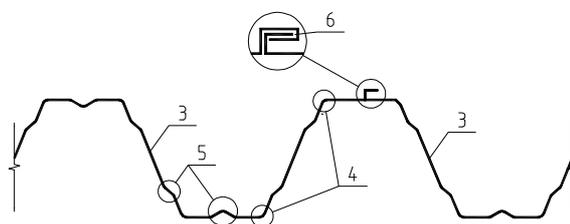
профиль, продольные ребра в котором, образуемые в процессе профилирования путем соответствующих перегибов (пластического деформирования) листа, а также так называемые промежуточные элементы жесткости и стыковочные отбортовки, необходимые для соединения отдельных профилей между собой в цельную конструкцию, играют роль несущего каркаса [2].

Изготовление дугообразных (криволинейных) СТХП осуществляется из тонколистовой стали с антикоррозионным (электролитическим цинковым, алюмоцинковым, алюмокремниевым или алюминированным) покрытием. Дополнительное (по выбору) защитно-декоративное лакокрасочное или полимерное покрытие позволяет не только существенно повысить коррозионную стойкость конструкции, но и получать архитектурные решения в нужной цветовой гамме.

Технологический процесс изготовления дугообразного СТХП состоит из двух основных стадий. Сначала из листовой рулонной стали формируется прямолинейный профиль с требуемой конфигурацией поперечного сечения, который затем, после отрезания в проектный размер, вальцуют в арку заданного, постоянного или переменного, радиуса.

Получаемые описанным выше способом на специализированном стационарном либо мобильном оборудовании дугообразные профили-заготовки являются базовыми конструктивными элементами, из которых, после установки их в проектное положение, закрепления концевыми частями на соответствующих опорах и последовательного соединения друг с другом, собирается самонесущее бескаркасное арочное покрытие-оболочка.

**История.** Впервые производство бескаркасных арочных сооружений из дугообразных СТХП было налажено в США в начале 50-х годов прошлого века под торговой маркой «Wonder Building, WB» («Удивительное сооружение») [3]. Арки собирались на болтах из короткомерных одноволновых, изогнутых по дуге посредством гофрирования, профилей-заготовок лоткообразного поперечного сечения высотой 200 мм и шириной 600 мм, изготавливавшихся из листовой стали толщиной  $0,8 \div 1,0$  мм. Профили характеризовались наличием волнообразных поперечных гофр и отсутствием продольных промежуточных элементов жесткости (см. рис. 2). Пролет сооружений составлял около 10 м.



1 – оболочка из стальных профилей; 2 – опорный элемент; 3 – стальной тонкостенный холодногнутого профиль; 4 – продольное ребро; 5 – промежуточные элементы жесткости; 6 – стыковочная отбортовка (фальцевый замок)

**Рис. 1.** Общий вид типичного пологого бескаркасного арочного покрытия и детали поперечного сечения трапециевидного СТХП

**Уласевич Вячеслав Прокофьевич**, к.т.н., профессор кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

**Жданов Дмитрий Александрович**, магистр технических наук, аспирант кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

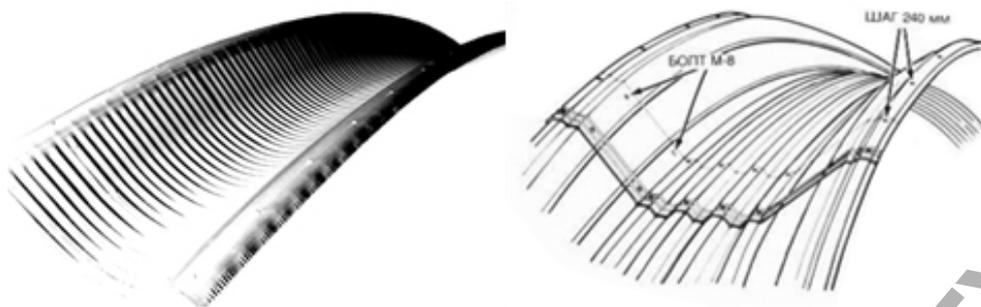


Рис. 2. Общий вид СТХП для строительства бескаркасных арочных покрытий по технологии «WB» (слева) [3] и «WedgCor» (справа) [4]

В конце 60-х годов американской фирмой «WedgCor» для строительства бескаркасных арочных сооружений начинают выпускаться дугообразные СТХП-заготовки новой конструкции. Профиль, шириной 680 мм и высотой 190 мм, изготавливался из листовой стали толщиной  $0,65 \pm 1$  мм и отличался трапециевидной формой поперечного сечения, а также наличием промежуточных продольных элементов жесткости на полках и стенках и отсутствием поперечных гофр [4]. Как и в предыдущем случае, сборка покрытия осуществлялась на болтах непосредственно на строительной площадке. Максимальная ширина перекрываемого пролета составляла 18,3 м (см. рис. 2).

Расширение сферы применения бескаркасных арочных покрытий из СТХП и, как следствие, рост на них спроса как в самих США, так и за рубежом, потребовали, с одной стороны, повышения производительности оборудования, использовавшегося для изготовления дугообразных СТХП, а с другой – ускорения процесса сборки покрытий на строительной площадке. Данная задача была успешно решена в 70-е годы компанией «Knudson». Во-первых, было создано принципиально новое технологическое оборудование – прототип современных мобильных панелеформовочных машин, с двумя технологическими линиями – панелеформования и гибки методом гофрирования [5]. Во-вторых, был разработан новый вид профиля с U-образным поперечным сечением высотой 110 мм, шириной 300 мм и толщиной стали  $0,8 \pm 1,2$  мм, позволявший безопасно перекрывать пролеты шириной до 20 м и, главное, осуществлять соединение профилей в цельную конструкцию с помощью фальцегибочной машинки.

Усовершенствования, внесенные в начале 80-х годов в технологию производства дугообразных СТХП специалистами компании M.I.C. Industries (США), привели к появлению профиля трапециевидного поперечного сечения высотой 200 мм, шириной 610 мм и толщиной  $0,8 \pm 1,5$  мм, позволявшего перекрывать пролеты до 36 м, изготовление которого осуществлялось на качественной новой панелеформовочной установке, получившей торговое название «Ultimate Building Mashine» («UBM») [6].

В настоящее время на мировом рынке предлагается широкий модельный ряд аналогов мобильного и стационарного оборудования типа «UBM», выпускаемых в разных странах мира как в виде универсальных, так и узкоспециализированных машин, настроенных под конкретные материалы и типоразмеры профилей и позволяющих осуществлять производство дугообразных профилей не только за два, но и за один проход.

В России, например, оборудование такого типа выпускается под маркой «Радуга-МБС» [7] компанией «Радуга-кровля» с 2002 г., а с 2007 г. – компанией «Ажурсталь» под маркой «Сфера» [8]. Оба аналога позволяют изготавливать из рулонной оцинкованной стали толщиной  $0,75 \pm 1,5$  мм СТХП U-образного поперечного сечения высотой 110 мм для перекрытия пролетов шириной до 24 м. В 2012 г. в ООО «Декор» было запущено производство строительного комплекса «Арка-610», который способен из рулонной оцинкованной стали толщиной  $0,6 \pm 1,5$  мм изготавливать дугообразные СТХП трапециевидного поперечного сечения высотой 200 мм для перекрытия пролетов до 36 м [9]. Во всех случаях придание профилям дугообразной формы осуществляется посредством гофрирования с образованием технологических поперечных гофр, а соединение между собой – закаткой фальцев.

Учитывая то, что в пологих арочных покрытиях профиль работает преимущественно на сжатие и наличие поперечных гофр отрица-

тельно сказывается на его несущей способности, рядом производителей были разработаны более рациональные конструкции и типоразмеры профилей, позволяющие увеличить их несущую способность без увеличения металлоемкости. Так, например, австрийской фирмой «Pender» [10] был разработан дугообразный профиль лоткообразного поперечного сечения без поперечных складок-гофр, который, при высоте 135 мм, ширине 610 мм и толщине стали 1,45 мм, позволяет перекрывать пролеты до 28 м.

В середине 80-х годов в качестве базового конструктивного элемента пологих арочных покрытий начал использоваться новый тип дугообразного ограждающе-несущего конструктивного элемента – профилированные листы со множественными, но меньшими по высоте, продольно ориентированными гофрами (см. рис. 3), которые ранее применялись только для плоских ограждающих конструкций и настилов. Впервые такая конструкция, под торговой маркой «Legato-Arch System», была запатентована австрийской компанией ZEMAN & Co [11], которая одновременно начала выпуск стационарного оборудования для производства профилей такого типа – трапециевидного поперечного сечения и высотой 38 мм, 73 мм и 107 мм из стали толщиной  $0,75 \pm 1,5$  мм для покрытий пролетом до 20 м, а несколько позже – мобильного оборудования «Arch Seamer», позволяющего изгибать по дуге, без образования поперечных гофр, профлист высотой 125 мм и толщиной  $1,0 \pm 1,5$  мм.

Выпуск аналогичных дугообразных профилированных листов был вскоре налажен под различными торговыми марками некоторыми другими европейскими компаниями и финансово-промышленными объединениями, такими как, например, немецкий концерн «AG Krupp» (под маркой «Hoesch Bogendach») [12] и финской компанией «PAAVO RANNILA» [13, 14]. Одновременно, данными фирмами были разработаны конструкции пологих арочных покрытий в утепленном исполнении – с одной и двумя несущими оболочками, позволяющие перекрывать в последнем случае пролеты до 30 м.

В то же время, существует ряд достаточно известных фирм и компаний, таких как, например, «INCOPERFIL» в Испании или «FLOLINE» в США, которые изготавливают профлисты волнового и трапециевидного поперечного сечений высотой в диапазоне  $38 \pm 70$  мм, позволяющие перекрывать пролеты до 15 м [15, 16], придание дугообразной формы которым по-прежнему осуществляется посредством гофрирования с образованием поперечных складок, без которых несущая способность профиля, несомненно, была бы несколько выше.

**Современное состояние.** Проведенный нами анализ имеющихся в открытом доступе данных [3–16] показал, что в большинстве западных стран, а также в США, России и Китае, при возведении бескаркасных арочных покрытий наибольшее распространение получили изготавливаемые из рулонной стали толщиной  $0,6 \pm 1,5$  мм полномерные СТХП складчатого поперечного сечения, характеризующиеся одиночными или множественными продольными гофрами высотой  $40 \pm 200$  мм с продольными промежуточными элементами жесткости на полках и/или стенках и, в ряде случаев, с поперечными складками, что позволяет создавать экономичные бескаркасные решения покрытий с пролетами от 10 до 36 м. Авторская классификация СТХП на основе их базовых геометрических и конструктивных характеристик показана на рис. 4.

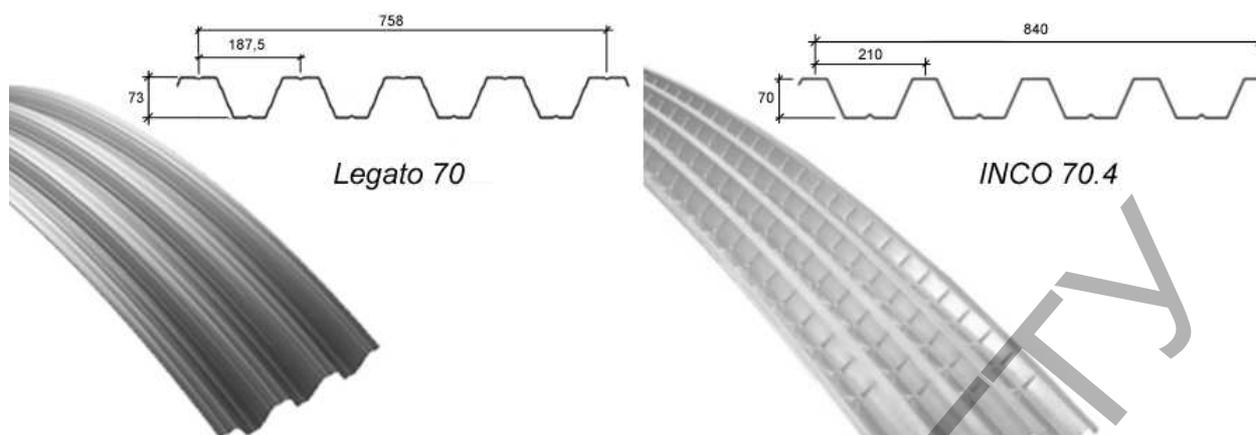


Рис. 3. Дугообразные профлисты типа «Legato» [11] и «INCOPERFIL» [15] для пологих бескаркасных арочных покрытий



Рис. 4. Виды СТХП для возведения бескаркасных арочных покрытий

Необходимо также отметить, что в мировой практике встречаются конструктивные решения комбинированных конструкций покрытий на основе СТХП, такие как, например, конструкции в виде полигональной фермы, линзообразных блоков и других типов комбинированных систем с поясами из профилированных листов, позволяющие перекрывать пролеты вплоть до 75 м [17], однако в данной работе они не являются предметом анализа.

Что же касается собственно бескаркасных арочных покрытий, то, несмотря на схожесть по функциональному назначению и принципу работы, их конструктивные решения различны, помимо используемого типа СТХП и генеральных размеров покрытия, целый ряд геометрических, конструктивных и иных особенностей, как то:

- форма очертания продольной оси дугообразных элементов покрытия;
- степень пологости покрытия;
- способ соединения сборных дугообразных элементов между собой;
- характер опорных устройств и способ крепления;
- способ восприятия арочного распора;
- количество оболочек;
- теплотехнические характеристики покрытия;
- количество сборных дугообразных элементов, используемых для перекрытия пролета;
- количество перекрываемых пролетов;
- наличие или отсутствие световых проемов, ветровых связей и др.

Авторская классификация бескаркасных арочных покрытий из СТХП по основным из указанных выше признаков приведена на рис. 5.

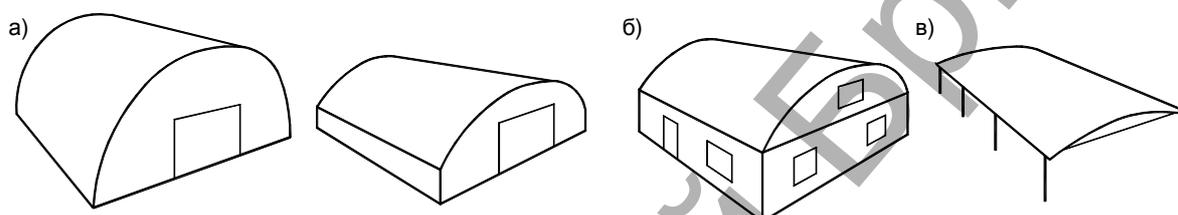
Благодаря разнообразию форм и конструктивных решений, в современной строительной практике за рубежом рассматриваемый тип покрытий используется весьма и весьма широко – как для строительства однообъемных наземных или подземных строений ангарного типа (см. рис. 6, а), или функциональных элементов базового сооружения типа мансардных надстроек различного назначения (рис. 6, б), с отношением высоты стрелы подъема арки к ее пролету  $f/l > 1/8$ , так и пологих, с отношением  $f/l \leq 1/8$ , одно- или многопролетных арочных покрытий (рис. 6, в), возводимых как при строительстве новых зданий и сооружений, так и реконструкции уже существующих.

**Перспективы применения в Республике Беларусь.** Несмотря на доказанную эффективность и расширяющееся применение бескаркасных арочных покрытий в самых разных странах мира, в нашей стране данный вид покрытий пока еще не получил активного, сопоставимого с западными странами, применения. Практически все возведенные до настоящего времени в Республике Беларусь конструкции с использованием дугообразных СТХП представляют собой высокие арочные сооружения 5-го класса сложности по СТБ 2331-2014 (ранее III класса ответственности), предназначенные главным образом для складских нужд.

Тем не менее, если еще 5–6 лет назад на рынке услуг по возведению бескаркасных арочных покрытий было всего лишь несколько участников, то на сегодняшний день такие услуги предлагают уже около 15 предприятий государственной и частной формы собственности, которые располагают собственным мобильным оборудованием для производства профилей на строительной площадке, а также несколько фирм, поставляющих профили из-за рубежа с последующей сборкой из них арочных покрытий на месте строительства.



Рис. 5. Классификация основных видов бескаркасных арочных покрытий



а) однообъемные бескаркасные арочные сооружения ангарного типа; б) бескаркасная мансардная надстройка арочного типа; в) пологое бескаркасное арочное покрытие

Рис. 6. Примеры сооружений с бескаркасными арочными покрытиями

Определенную роль в продвижении технологии бескаркасного арочного строительства в Республике Беларусь послужил спрос на быстровозводимые здания агропромышленного назначения, возникший в связи с принятием Государственной программы устойчивого развития села на 2011–2015 годы, а также разработка и принятие СТБ 2231-2011 «Профили стальные холодногнутые для бескаркасных зданий арочного типа».

Однако положения СТБ 2231-2011 распространяются исключительно на профили построеного изготовления с одиночными продольными гофрами U-образной и трапециевидной поперечной сечения и лишь для возведения бескаркасных однопролетных производственных и бытовых зданий и сооружений арочного типа, и, таким образом, не могут применяться для целого ряда других видов профилей и типов покрытий.

В числе наиболее важных, помимо макроэкономических и нормативно-правовых, факторов, сдерживающих более широкое применение в Республике Беларусь бескаркасных арочных покрытий вообще, и пологих в частности, необходимо в первую очередь указать следующие:

- отсутствие систематизированной информации о конструктивных решениях и возможных сферах применения бескаркасных арочных покрытий;
- недостаточная национальная экспериментально-теоретическая база данных, касающихся как работы арочных конструкций покрытий из СТХП при различных статических и динамических эксплуатационных нагрузках, так и факторов, влияющих на долговечность покрытий в зависимости от местных условий эксплуатации;
- сохраняющаяся все еще достаточно высокая сложность расчета бескаркасных арочных покрытий по несущей способности [1, 18], отсутствие на данный момент устоявшихся национальных стандартов и должной практики по расчету, проектированию, изготовлению, монтажу и эксплуатации бескаркасных арочных покрытий из СТХП.

С целью решения указанных выше проблем на кафедре строительных конструкций БрГТУ в последние годы проводятся теоретические и экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния элементов бескаркасных арочных покрытий из СТХП [19, 20], направленные, в частности, на разработку

эффективных методов расчета такого рода конструкций [21, 22]. В ближайшее время совместно с ООО «Профкомплектация» (г. Брест) планируется экспериментальные испытания натурного фрагмента пологого покрытия из профиля трапециевидного сечения с поперечными складками с целью исследования эффективности его применения в качестве бесчердачной арочной кровли для вновь возводимых и реконструируемых зданий различного назначения.

**Заключение.** В настоящее время производство и применение дугообразных СТХП в массовом и уникальном строительстве стало одним из приоритетных направлений стройиндустрии в промышленно развитых странах мира. Наличие всех необходимых технологий, научно-технического сопровождения и высококвалифицированных специалистов, а также обширная практика проектирования и строительства в купе с накопленным опытом эксплуатации арочных покрытий из СТХП позволяет строительным фирмам в этих странах выполнять с достаточной доходностью для себя заказы любой сложности и в короткие сроки.

Однако, несмотря на доказанную экономическую эффективность и распространенность бескаркасных арочных покрытий в большинстве стран мира, их использование в Республике Беларусь сдерживается целым рядом факторов, одним из которых является недостаточная осведомленность заказчиков, застройщиков и проектировщиков относительно сферы применения, надёжности и экономичности такого рода покрытий.

Выполненный в настоящей работе анализ существующих на мировом рынке дугообразных СТХП и конструктивных видов арочных покрытий, а также их классификация на основе ряда геометрических, технологических и конструктивных признаков, в паре с проводимыми авторами научными исследованиями [18–22], имеет своей целью заполнить, в известной мере, существующий информационный пробел.

Ограниченная на сегодняшний день сфера применения бескаркасных арочных покрытий в Республике Беларусь является, по нашему убеждению, временной. Наличие в стране известной материально-технической базы для производства дугообразных СТХП (достаточно крупный завод металлоконструкций в г. Молодечно, рост числа фирм, приобретающих специализированное мобильное оборудование для производства СТХП), позволяет с большой долей уверенности прогно-

зировать постепенное повышение, в соответствии с мировой тенденцией, в ближайшее время на строительном рынке республики спроса на бескаркасные арочные покрытия и увеличения доли бескаркасных арочных решений при проектировании покрытий как для вновь возводимых, так и реконструируемых зданий и сооружений.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Айрумян, Э.Л. Эффективные холодногнутые профили из оцинкованной стали – в массовое строительство / Э.Л. Айрумян, В.Ф. Беляев // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2005. – № 11. – С. 10–17.
2. Прицкер, А.Я. Бескаркасные складчатые конструкции / Л.Я. Прицкер, В.Л. Аденский, М.С. Фридман. – К.: Будивэльник, 1991. – 88 с.
3. Pre-Engineered Systems [Electronic resource]. – 2015. – Mode of access: <http://www.pre-engineered-systems.com/about-pre-engineered-systems.php>. – Date of access: 14.08.2015.
4. The Marvel Brute Modified U Panel Arch [Electronic resource]. – 2015. – Mode of access: <http://marvelbrute.com/QualityFeatures>. – Date of access: 13.04.2015.
5. Evaluation of K-Span as a Rapidly Erectable Lightweight Mobilization Structure. Construction Engineering / US Army Corps of Engineers Construction Engineering Research Laboratory; D. Briassoulis, A. Kao, S. Sweeney. – Champaign, 1991. – 64 p. – TR M-91/06.
6. M.I.C. Industries [Electronic resource]. – 2015. – Mode of access: <http://www.micindustries.com/>. – Date of access: 09.12.2015.
7. Строительство бескаркасных арочных сооружений на оборудовании «Радуга МБС» [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа: <http://www.raduga-mbc.ru/>. – Дата доступа: 21.11.2011.
8. Оборудование для бескаркасного арочного строительства «СФЕРА» компании «Ажурсталь» [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа: <http://www.azhurstal.ru/>. – Дата доступа: 10.11.2011.
9. Мобильный профилегибочный комплекс для профессионального производства бескаркасных арочных конструкций «Арка-610» [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа: <http://arkarussia.ru/pdf/Catalog.pdf>. – Дата доступа: 15.08.2014.
10. The Peneder Arched Roof [Electronic resource]. – 2014. – Mode of access: <http://www.peneder.com/>. – Date of access: 17.08.2014.
11. Legato-Arch System. Technical Documentation // Zeman Bauelemente [Electronic resource] – 2013 – Mode of access: <http://www.zebau.com/media/legato-technical-documentation.pdf>. – Date of access: 11.01.2013.
12. Hoesch Bogendach Technische Daten [Electronic resource]. – 2014. – Mode of access: [http://www.hoesch-bau.com/uploads/tx\\_downloads/bogendach\\_gb.pdf](http://www.hoesch-bau.com/uploads/tx_downloads/bogendach_gb.pdf). – Date of access: 10.08.2014.
13. Makelainen, P. Stability of arched roof made of profiled steel sheeting / P. Makelainen, J. Hyvarinen // Tenth international specialty conference on cold-formed steel structures, Missouri, October 23–24 1990 / Missouri S&T (Formerly the University of Missouri-Rolla). – Missouri, 2009. – P. 131–148.
14. Kantavat rakenteet // Rautaruukki Oyj [Electronic resource]. – 2014. – Mode of access: <http://www.ruukki.fi/~media/Finland/Files/Rakentamisen-esitteet/Ruukki-kantavat-rakenteet.pdf>. – Date of access: 14.08.2014.
15. Curved Self-Supporting Roofing // Incoferfil Ingenieria y Construcción del Perfil S.A [Electronic resource]. – 2014. – Mode of access: <http://www.incoferfil.com/the-self-supporting-roofing-cms-1-51-171/>. – Date of access: 14.08.2014.
16. Curved Metal Deck // Finline architectural systems, LLC [Electronic resource]. – 2014. – Mode of access: [http://www.flinesystems.com/index\\_html\\_files/FinlineCurvedDeck\\_020811.pdf.pdf](http://www.flinesystems.com/index_html_files/FinlineCurvedDeck_020811.pdf.pdf). – Date of access: 12.05.2014.
17. Honco Steel Buildings [Electronic resource]. – 2014. – Mode of access: [http://www.honco.ca/Upload/CommuniquePresse/2/Honco\\_brochure\\_Eng2.pdf](http://www.honco.ca/Upload/CommuniquePresse/2/Honco_brochure_Eng2.pdf). – Date of access: 16.08.2014.
18. Уласевич, В.П. Особенности напряженно-деформированного состояния гибких пологих арок из стальных тонкостенных гнутых профилей / В.П. Уласевич, Д.А. Жданов // Вестник БрГТУ. – 2012. – № 1(73): Строительство и архитектура. – С. 104–110.
19. Жданов, Д.А. Теоретические исследования пологих бескаркасных арочных покрытий из стальных тонкостенных холодногнуто-профилей / Д.А. Жданов, В.П. Уласевич // Перспективные направления инновационного развития строительства и подготовки инженерных кадров: сб. науч. статей XIX Междунар. науч.-метод. семинара, Брест, 23-25 октября 2014 года. – С. 68–75.
20. Жданов, Д.А. Экспериментальные исследования фрагмента пологого арочного покрытия из тонколистового холодногнутого профиля типа МС-120 с поперечными гофрами / Д.А. Жданов, В.П. Уласевич, И.В. Зинкевич // Вестник Полоцкого государственного университета. – 2015. – № 8 Серия F: Строительство. Прикладные науки. – С. 33–40.
21. Жданов, Д.А. К определению эффективных сечений стальных бескаркасных арочных покрытий по Еврокоду / Д.А. Жданов, В.П. Уласевич / Строительная наука и техника. – 2013. – № 2(43): Научно-технический журнал. – С. 22–26.
22. Уласевич, В.П. Деформационный расчет бескаркасных арочных покрытий из стальных тонкостенных холодногнуто-профилей / В.П. Уласевич, Д.А. Жданов // Вес. Брестск. гос. техн. ун-та. – 2015. – № 1(91): Строительство и архитектура. – С. 66–72.

Материал поступил в редакцию 02.02.16

#### ZHDANOV D.A., ULASEVICH V.P. Self-Supported Arch-Shaped Roof Structures Made of Cold-Formed Steel Profiles: History, State of the Art, Problems and Prospects for their Application in the Republic of Belarus

Self-supported arched roof structures made of cold-formed steel profiles have been considered and classified in terms of their geometrical and structural peculiarities. The prospects and problems of a much wider use of the roof structures in question in building construction and reconstruction on the territory of the Republic of Belarus have been analysed.

УДК 624.014.001.24 (476.7)

Люстибер В.В.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ УЗЛОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ СТРУКТУРНОЙ КОНСТРУКЦИИ СИСТЕМЫ «БрГТУ» ПРИ ЗАГРУЖЕНИИ СТЕРЖНЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗГИБАЮЩИМИ МОМЕНТАМИ

**Введение.** Структурная конструкция системы «БрГТУ» [1] по принятым конструктивным решениям принципиально отличается от большинства известных систем, но одновременно с этим обладает рядом достоинств, характерных для структур как отдельного класса строительных конструкций [2, 3]. Утверждается [4–6], что структур-

ные конструкции, характеризующиеся высокой степенью статической неопределенности, в зависимости от стержневой схемы, условий опирания, сечений стержней и видов нагрузки могут иметь достаточно высокие показатели резерва несущей способности. Исследования [4, 5], выполненные для структурных конструкций, в которых

Люстибер Вадим Викторович, старший преподаватель кафедры строительных конструкций Брестского государственного технического университета  
Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.