

**БЕССТРОПИЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ДВУХСКАТНЫХ КРЫШ ИЗ ПЛОСКИХ  
СТАЛЬНЫХ ХОЛОДНОФОРМОВАННЫХ ПРОФИЛЕЙ ТИПА МІС**

Уласевич В.П., Сидорук А.В.

**Введение**

Капитальное строительство гражданских и промышленных зданий чаще всего сопровождается существенными материальными и временными затратами, необходимыми для их введения. Опыт строительства зданий и анализ выполненных работ по обследованию несущих конструкций зданий указывает на то, что общие их затраты в условиях длительной эксплуатации существенно зависят от затрат на покрытие и кровлю. Так по данным [1] при усредненном сроке службы фундаментов, каменных стен и железобетонных перекрытий в 150 лет, кровля из рулонных материалов в 2÷3 слоя может эксплуатироваться без ремонта не более 12 лет. В практике проектирования наибольшее применение нашли двухскатные крыши, основными несущими элементами которых являются деревянные стропила с обрешеткой, на которые опирается кровельный настил в виде металлочерепицы. Недостатком такого решения крыши следует считать их высокую трудоемкость и стоимость, а также повышенную склонность к возгоранию при относительно низкой долговечности.

С учетом сказанного, поиск инновационных конструктивных решений конструктивных схем двухскатных крыш – задача актуальная как в теоретическом, так и в практическом плане. В данной работе ставится задача – исследовать целесообразность и возможность использования стальных тонкостенных холодногнутых профилей корпорации M.I.C. Industries Inc (США) [2, 3] или ее аналогов в конструктивных схемах двухскатных крыш.

**1. Стальные тонкостенные холодноформованные профили**

В настоящее время в строительстве во многих странах мира получили широкое распространение стальные тонкостенные холодноформованные профили (СТХП). Этому способствовали автоматизированные технологии, разработанные в настоящее время рядом зарубежных фирм для изготовления СТХП из рулонной тонколистовой оцинкованной стали, применяемых в строительстве бескаркасных арочных зданий [1]. Мировым лидером здесь является корпорация M.I.C. Industries Inc (MІС) с ее производством мобильных комплексов автоматических строительных машин (АСМ), позволяющим готовить СТХП в две стадии: на первой – изготавливается прямолинейный профиль; на второй – прямолинейный профиль изгибается по заданному радиусу кривизны [2], [3]. Особенность профилей MІС, отличающая их от традиционных профилированных настилов – наличие фальцевых кромок, позволяющих соединять профили между собой по длине закаткой фальцевого замка с помощью забортовочной машины, входящей в комплект АСМ, а также технология их изготовления непосредственно на строительной площадке на специальном технологическом оборудовании.

Оборудование и технологии MІС первоначально получили распространение в армии США для строительства всевозможных укрытий в виде бескаркасных арочных зданий. В последующем бескаркасные арочные здания стали широко использоваться почти во всех отраслях народного хозяйства в качестве построек производственного и сельскохозяйственного назначения.

Корпорацией MІС были разработаны и до настоящего времени успешно используются два типа СТХП: корытообразный профиль MІС-120 и трапецеидальный MІС-240, оба прямолинейного (рисунок 1) и криволинейного очертания.

Эффективность и надежность их настолько обоснована и подтверждена практикой строительства, что в РФ [4, 5], КНР [6] и других странах создано оборудование в виде аналогов АСМ, позволяющее изготавливать профили типа MІС. Постоянно совершенствуются методы оценки их напряженно-деформированного состояния (НДС), ведется поиск новых конструктивных схем использования их при строительстве зданий различного функционального назначения.

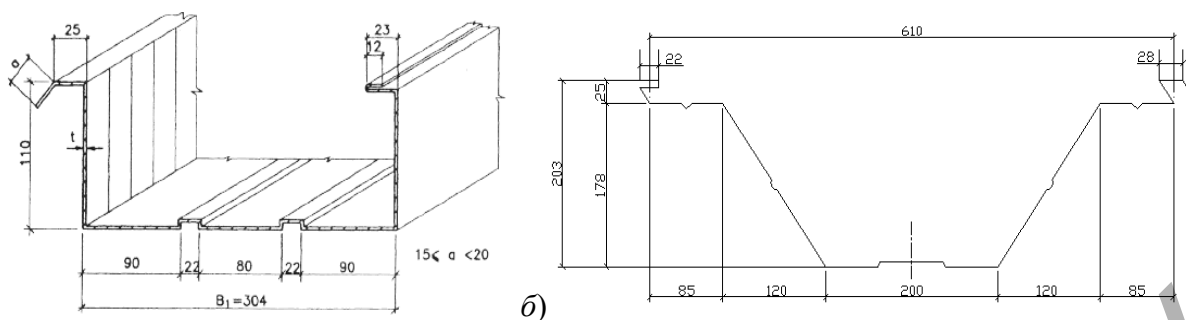


Рисунок 1 – Схема сечений прямолинейных СТХП типа М1С:  
а) – профиль М1С-120; б) – профиль М1С-240

Широкое применение СТХП типа М1С в строительстве бескаркасных арочных зданий получили благодаря ряду преимуществ в сравнении с другими строительными конструкциями и технологиями. Важнейшие из них:

- высокие темпы строительства и достаточно низкая себестоимость;
- изготовление профилей непосредственно на стройплощадке;
- высокая несущая способность бескаркасного часторебристого профиля;
- совмещение несущих и ограждающих функций арочного свода;
- низкая стоимость фундамента под бескаркасное здание;
- повышенная долговечность в процессе эксплуатации (40 ÷ 50 лет).

Указанные преимущества стимулировали проектировщиков обратить внимание на возможность применения технологии строительства бескаркасных зданий из СТХП в строительстве покрытий традиционных жилых и производственных зданий.

Однако применение часторебристых СТХП в покрытиях зданий (в том числе и профилей типа М1С) требует учета особенностей их работы:

а) Обосновать возможность переноса цилиндрического (арочного) свода в виде бескаркасного арочного здания, опирающегося непосредственно на фундамент, на отметку покрытия здания. Такая возможность доказана нами в [7, 8], где впервые показано наличие у свода-оболочки сдвиговой жесткости, учет которой дает возможность облегчить восприятие распора в виде сплошной нагрузки участками опорных конструкций покрытия между закрепленными точками. Это позволяет организовать его восприятие дискретно путем установки в точках с заданным шагом затяжки. Кроме того, наличие у арочного свода сдвиговой жесткости позволило обосновать применение для его расчета стержневую модель эффектов воздействий [9].

б) Разработать конструктивное решение, обеспечивающее успешную передачу распора свода-оболочки на несущий каркас здания. Такое конструктивное решение нами разработано и защищено патентом на полезную модель [10].

в) Разработать деформационный метод расчета часторебристых цилиндрических сводов-оболочек из СТХП с отношением стрелы подъема  $f$  к пролету  $l$  в пределах  $f/l=(1/8 \div 1/12)$ , учитывающий их геометрическую нелинейность. Такой метод разработан Д.А. Ждановым на основе теории деформационного расчета пологих распорных систем [11] и реализован в компьютерной программе *StarsCAD* [12]. Здесь важно отметить, что программа *StarsCAD* позволяет описывать и рассчитывать по деформированной схеме весь спектр расчетных моделей пологих распорных систем из СТХП с геометрией в виде криволинейного очертания (арочных, висячих), а также прямолинейного очертания (работающих по схеме сжато-изогнутых или растянуто-изогнутых стержней). Это дает возможность рассматривать программу *StarsCAD* в руках проектировщика как виртуальный инструмент.

## 2. СТХП типа М1С в безстропильных скатных крышах зданий

Форма скатных крыш зданий, чаще всего, образуется стропильной системой. *Стропильная система* – это несущая конструкция крыши, представляющая собой систему из прямолинейных стержней, изготовленных из деревянных брусьев прямоугольного сечения или из металлических профилей, и объединенных в геометрически неизменяемую конструктивную схему. В традиционном понимании двухскатной крыши здания основными ее несущими

конструктивными элементами являются *стропила*, предназначенные для опирания на них ограждающей конструкции крыши – кровли. В зависимости от способа установки стропил и особенностей их работы в несущем каркасе двухскатной крыши, стропила принято подразделять на *наклонные* и *висячие*. Работа стропил, как основной части несущей конструктивной системы двухскатной крыши, под воздействием нагрузки, и оценка ее несущей способности может быть определена только расчетом ее *расчетной модели*. Отсюда важнейшая задача проектировщика – уметь назначить *эффективную конструктивную схему двухскатной крыши* и назначить для нее *расчетную модель*, предельно близко отражающую действительное напряженно-деформированное состояние конструктивной системы крыши под воздействиями.

С позиций такой исторически сложившейся классификации стропил, как основных несущих элементов скатных крыш, и рассмотрим особенности их расчетных моделей.

**Двухскатные модели крыши с наклонными стропилами.** Наклонные стропила скатных крыш получили свое название от слова «наклонить».

Если в двухскатных конструктивных схемах крыш один конец стропила закреплен на специальной *подстропильной конструкции*, установленной по внутренней стене, а другой лежит на конструкции внешней стены, допуская свободное горизонтальное его смещение, образуется *безраспорная наклонная система*. В этом случае стропила работают по балочной схеме, испытывая только изгиб. Возможные ее расчетные модели для этого случая представлены на рисунке 2.

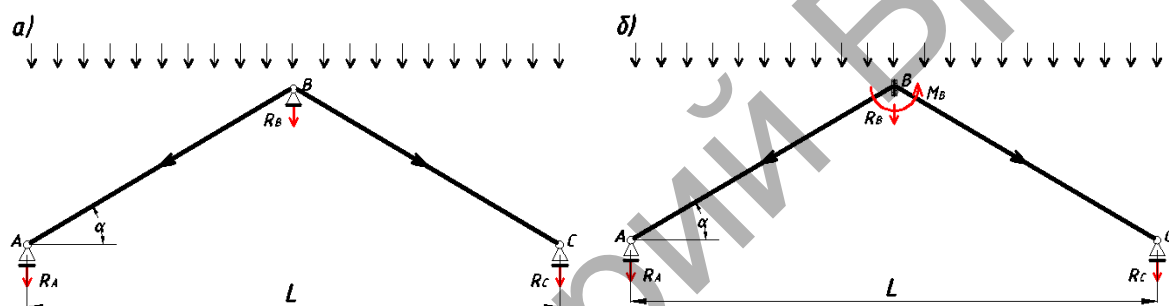


Рисунок 2 – Модель двухскатной крыши с безраспорной схемой наклонных стропил

В практике проектирования нашли применение три конструктивные схемы **двухскатных безраспорных наклонных систем крыши**:

- Конструктивная схема с неподвижным закреплением нижних концов стропил к наружной части стены, а верхние их концы допускают горизонтальное перемещение (рисунок 2а), и поэтому работающие практически только на изгиб;

- Конструктивная схема с подвижным закреплением нижнего конца стропил к наружной части стены, а верхние их концы соединены между собой шарнирно, но не допускают горизонтальных и вертикальных перемещений (рисунок 2а), а поэтому такая расчетная схема является также безраспорной, стропила которой работают главным образом на изгиб по схеме простой балки на разновысоких опорах;

- Конструктивная схема с подвижным закреплением нижних концов стропил к наружной части стены, но у которой верхние их концы соединены между собой жестко и не допускают горизонтальные и вертикальные перемещения. В этом случае в коньковом узле появляется опорный изгибающий момент, и за счет этого по длинам стропил уменьшаются максимальные величины их прогибов, а также связанных с ними изгибающих моментов и поперечных сил (рисунок 2б).

Здесь важно отметить, что во всех указанных выше конструктивных схемах **двухскатных безраспорных наклонных систем крыши** при построении их расчетных моделей воздействий должно соблюдаться следующее правило: один конец стропильного стержня делается горизонтально подвижным, а другой, объединенный в верхний узел, не допускает линейные перемещения, но может допускать или не допускать поворот узла *B*.

Если в двухскатной системе с наклонными стропилами оба конца стропил закреплены неподвижно, то образуется **распорная конструктивная система**, в которой стропила под воздействи-

ем вертикальной поперечной нагрузки испытывают совместное воздействие растягивающей продольной силы и изгибающих моментов по длине стропил (рисунок 3а).



Рисунок 3 – Модель двухскатной крыши с распорной схемой наслонных стропил

Если необходимо уменьшить величину распора  $H_A$ , а также величину изгибающего момента, то можно установить ниже узла  $B$  распорку (рисунок 3б). Если необходимо уменьшить изгибающий момент по длине стропильного стержня, то этого можно достичь либо путем жесткого сопряжения стропильных стержней между собой над узлом  $B$  (рисунок 3б), либо жестко соединив также и нижние концы стропильных стержней с неподвижными опорными узлами  $A$  и  $C$ .

**Двухскатные модели крыш с висячими стропилами.** Двухскатные конструктивные схемы крыш с висячими стропилами конструктивно представляют собой треугольные арочные стержневые системы. Их основные расчетные модели в виде треугольной арки с затяжкой представлены на рисунке 4.

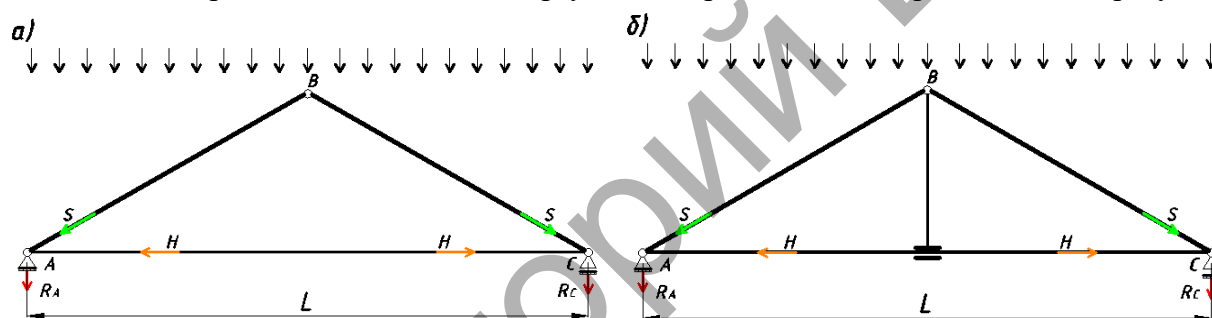


Рисунок 4 – Двухскатные модели крыш с висячими стропилами

а) – в виде треугольной арки с затяжкой; б) – тоже, но затяжка с подвеской

Главная особенность их расчетных моделей – наличие значительной величины горизонтальной составляющей опорных реакций (распора). Для восприятия распора устанавливают затяжку, что делает **двухскатные модели крыш с висячими стропилами** внешне безраспорными системами. Кроме того, у двухскатных моделей крыш с висячими стропилами затяжка может иметь значительную длину. Поэтому, не смотря на то, что ей не грозит потеря устойчивости, так как она работает главным образом на растяжение, ее подвешивают к верхнему узлу с помощью подвески, работающей на растяжение.

Недостаток **двухскатные модели крыш с висячими стропилами** – работа стропильных стержней этой распорной системы на сжатие с изгибом. Поэтому при оценке их предельных состояний необходима проверка их на устойчивость как сжато-изогнутых стержней. Поскольку их устойчивость значительно зависит от величины максимального изгибающего момента по длине стропильного стержня, конструктивные приемы с целью уменьшить величину изгибающего момента могут быть использованы такие же, как и рассмотренные нами ранее для **двухскатных крыш зданий с распорной схемой наслонных стропил**.

**К применению плоских часторобристых СТХП в двухскатных крышах зданий.** Плоские часторобристые СТХП типа МС-120 и МС-240 изготавливаются на мобильных комплексах автоматических строительных машин (АСМ) корпорации МС как промежуточная продукция, из которой в последующем изготавливаются арочные профили для монтажа из них бескаркасных арочных зданий. При этом, плоские часторобристые СТХП используются для устройства торцовых стен бескаркасных арочных зданий в виде сплошной самонесущей часторобристая плита на всю ширину и высоту торца здания, способной не только воспринимать

расчетное воздействие ветровой нагрузки, но и выполнять ограждающие функции от атмосферных воздействий в виде дождя и снега.

Учитывая их значительную несущую способность представляет научный интерес поиск конструктивных схем для проектирования двухскатных крыш с использованием часторебристых плит из СТХП типа МІС, совмещающих в себе несущие и ограждающие функции, но обладающие повышенной деформативностью, порождающей геометрическую нелинейность их расчетных моделей, а поэтому требующей разработки методики ее учета при расчете.

Предпосылкой к возможности оценки несущей способности *часторебристых плит из СТХП типа МІС*, применяемых для проектирования двухскатных крыш зданий и эффективности их применения является следующее:

- установленное нами наличие сдвиговой жесткости [7, 8], позволяющей, с одной стороны упростить передачу опорных реакций на несущие конструкции здания, а с другой – применять для оценки напряжено-деформированного состояния (НДС) плоскую стержневую модель;
- выполненный анализ расчетных моделей двухскатных крыш приоткрыл возможность применить их в практике проектирования двухскатных крыш из плоских холоднодеформированных СТХП при условии допустимости применения к их расчету стержневой модели;
- наличие деформационного метода расчета [12], реализованного в компьютерной программе *SdCAD*, позволяет использовать ее в качестве инструмента исследований, и поэтому есть возможность выполнить требуемый объем теоретических исследований;
- важен приобретенный опыт проведения экспериментальных исследований и методика их выполнения, изложенные в [13], а также наличие требуемых приборов и оснастки.

Изложенный в данной статье материал содержит основные положения программы проведения предстоящих теоретических и экспериментальных исследований, в которой поставлены следующие основные цели задачи:

- обосновать возможность и практическую достоверность замены пространственной модели часторебристой плиты из СТХП на ее стержневой аналог с использованием *геометрически нелинейной модели эффектов воздействий* (для определения внутренних деформаций и связанных с ними усилий), и модели сопротивления продольно-поперечному изгибу, построенной на методике вычисления эффективных характеристик поперечных сечений СТХП, основы которой заложены в Еврокоде 3;
- для представленных на рисунках 2÷4 расчетных моделей и их возможных модификаций наметить предельно близкие им конструктивные схемы двускатных крыш из часторебристых плоских СТХП типа МІС и разработать методику их деформационного расчета, учитывающую их повышенную деформативность;
- выполнить теоретическую оценку разработанной методики деформационного расчета двухскатных крыш из плоских СТХП на расчетные атмосферные воздействия, предусмотренные нормами Еврокода, путем проведения аналитических и численных исследований;
- выполнить поиск оптимальных конструктивных решений двухскатных крыш из плоских СТХП по расходу металла, и дать сравнительную оценку их стоимости с двухскатными крышами на несущем каркасе из дерева и кровлей из металлочерепицы с учетом долговечности;
- Разработать методические рекомендации по проектированию скатных крыш из часторебристых СТХП тип МІС с внедрением ее в учебный процесс и практику проектирования.

Результаты некоторых задач из перечисленного перечня решены и будут доложены на конференции.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** В статье показана перспективность теоретических и экспериментальных исследований, направленных на разработку конструктивных схем двухскатных крыш жилых и производственных зданий с использованием часторебристых СТХП, экономическую целесообразность их применения в покрытиях жилых и производственных зданий как способных совмещать в себе несущие и ограждающие функции.

Указан перечень целей и задач, намечены пути их решения, построенные на анализе особенностей часторебристых плоских СТХП, указана возможность разработки конструктивных схем двухскатных крыш, совмещающих в себе несущие и ограждающие функции.

В случае успешного решения всех задач, поставленных в данной статье, открывается возможность разработать методику оценки всех предельных состояний, необходимых и достаточных для проектирования конструктивных схем двухскатных крыш зданий из часторебристых плоских стальных тонкостенных холоднодеформированных профилей типа МІС

#### Список источников

1. Рогонский, В.А. Эксплуатационная надежность зданий / В.А.Рогонский и др. – Л.: – Стройиздат. Ленинградское отделение, 1983. – 280 с.

2. 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.

3. M.I.C. Industries [Electronic resource]. – 2014. – Mode of access: <http://www.micindustries.com/>. – Date of access: 09.12.2015.

4. Оборудование для бескаркасного арочного строительства «СФЕРА» компании «Ажур-сталь». – [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа: <http://www.azhurstal.ru/>. – Дата доступа: 10.11.2011.

5. Строительство бескаркасных арочных сооружений на оборудовании «Радуга МБС». – [Электронный ресурс]. – 2011. – Режим доступа: <http://www.raduga-mbc.ru/>. – Дата доступа: 21.11.2011.

6. Мобильный профилигибочный 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.

7. Сидорук, А.В. Численные исследования работы на сдвиг пологих сводов из стальных тонкостенных холодногнутых профилей типа МІС / А.В. Сидорук, В.П. Уласевич // Сборник научн. статей «Традиции, современные проблемы и перспективы развития строительства», Гродно, ГрГУ им. Я.Купалы, 2016. – С. 59-64.

8. Уласевич, В.П. К оценке деформационной модели расчета пологих арочных сводов-оболочек из стальных тонкостенных профилей типа МІС / В.П. Уласевич, Д.А. Жданов, А.В. Сидорук // Теория и практика исследований и проектирования в строительстве с применением САПР : сборник статей Международной научно-технической конференции, Брест, 30-31 марта 2017 г. / БрГТУ; редкол.: Семенюк С.М. [и др.]. – Брест, 2017. – С. 161–168.

9. Уласевич, В.П. Деформационный расчет бескаркасных арочных покрытий из стальных тонкостенных холодногнутых профилей / В.П. Уласевич, Д.А. Жданов // Вестник БрГТУ. – 2015. – № 1(91): Строительство и архитектура. – С. 66 – 73.

10. Патент на полезную модель «Арочный блок покрытия» ВУ 11691 / В.П.Уласевич, Д.А.Жданов, К.Ю.Пула. – Дата публикации 30.06.2018. – Режим доступа: <http://belgospatent.by>. – Дата доступа: 30.06.2018.

11. Уласевич, В.П. Деформационный расчет и исследование напряженно-деформированных состояний пологих однопоясных распорных систем: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 01.02.03 / В.П. Уласевич; ЦНИИСК им. Кучеренко. – М., 1984. – 24 с.

12. Уласевич, В.П. Алгоритм пользовательского интерфейса деформационного метода расчета гибких стержневых систем в среде MathCAD / В.П. Уласевич, Н.В. Бочарова, О.В. Костюк // Вестник БрГТУ. – 2010. № 5(65) Физика, математика, информатика. – С. 107–111.

13. Жданов, Д.А. Деформационный метод расчета бескаркасных арочных покрытий из ребристых СТХП: автореф. дис. ...канд. техн. наук: 05.23.01 / Д.А. Жданов; БрГТУ. – Брест, 2018. – 24 с.