

## Двускатные пространственно-стержневые конструкции крыш жилых зданий типовой застройки

*В.П. Вершинин*

*Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет*

**Аннотация:** В настоящей статье рассмотрены особенности устройства скатной крыши для жилых зданий типовой застройки. Устройство двускатных пространственно-стержневых конструкций крыш осуществляется в рамках применения конструктивной системы покрытия панельных жилых зданий с продольными несущими стенами. Формирование конструктивной формы покрытия решается путем последовательного развития модульной системы из блоков. В основе модульной системы рассматривается регулярный блок, который состоит из двускатного настила из гнутолистовых профилей, сплавляемых фальцевыми шовными узлами, и подкрепляющей пространственно-стержневой несущей системой. Представлены проектные и расчётные положения модульного блока с учётом особенностей компоновки конструктивной формы покрытия. Даны основные выводы по применению двускатных покрытий. В заключении приведены перспективы развития двускатных покрытий с настилом из гнутолистовых тонкостенных профилей. Использование легкой конструкции покрытия позволяет расширить возможности проектирования реконструкции жилых зданий типовой застройки с малоуклонной кровлей без значительного увеличения нагрузки на фундамент. Конструктивное решение позволяет реализовать на строительной площадке укрупнительную сборку двускатного покрытия, сводя к минимуму использование многодельного ручного труда и повышая безопасность производства строительных работ.

**Ключевые слова:** компоновка двускатного покрытия, модульный блок, гнутолистовой тонкостенный профиль, фальцевый шовный узел, пространственно-стержневая система, расчётная схема.

### Введение

Жилищная застройка с типовыми многоквартирными домами являлась результатом бурного развития индустриального жилищного строительства СССР второй половины XX века. Основу такой застройки составляют здания панельного домостроения. В настоящее время большинство жилых зданий фонда подобного типа находится в неудовлетворительном состоянии по многим причинам.

Наиболее уязвимой конструктивной частью по критерию количества технических повреждений панельных зданий остается кровля. Мастичные кровли малоуклонных чердачных и совмещенных крыш требуют проведения

---

текущих ремонтов, частота которых в основном зависит от строительско-климатических условий эксплуатации. Несмотря на экономическую эффективность, устройство малоуклонных кровель при долгосрочной оценке эксплуатационных затрат по сравнению со скатной кровлей становится вполне сопоставимо по суммарным вложениям.

При оценке эффективности применения тех или иных строительных конструкций и систем необходимо учитывать инженерно-технические условия возведения и эксплуатации, а также особенности транспортной доставки и монтажной сборки.

Важным показателем оценки эксплуатационных качеств строительных конструкций является безремонтный период, который характеризуется периодами проведения текущего ремонта и капитального ремонта.

Материалоёмкость конструктивного решения должна сопровождаться оценкой возможности в доступности исходных материалов. Трудоёмкость должна оцениваться по возможности применения промышленных способов монтажа и наличия квалифицированных трудовых ресурсов [1]. Также оценке подлежат такелаж и транспортные затраты [2].

При устройстве скатной кровли должны учитываться особенности применяемого кровельного материала. В частности, рассматриваются его конструктивные особенности в рамках обеспечения гидроизолирующих свойств и характеристик, включая формы поставки на строительную площадку и технологические условия роспуска.

### **Конструктивные решения двускатного покрытия**

Для конструктивных систем зданий с продольными несущими стенами характерно наличие небольших пролётов при общей ширине около 12м. Это позволяет использовать в покрытии несущие пространственно-стержневые трёхпорные системы. Следует учитывать, что развитая в продольном

---

направлении конструктивная форма здания предполагает подобное же развитие строительных форм скатной крыши.

Таким образом, конструктивная форма двускатного покрытия образуется последовательной установкой регулярных пространственных монтажных блоков. Система компоновки конструкции покрытия за счет постановки регулярных блоков должна учитывать особенности монтажа и конструктивных условий модульных систем, включая обеспечение точности проектного положения.

Модульный блок формируется из двускатных неразрезных настилов и подкрепляющей их пространственно-стержневой системы (рис. 1).

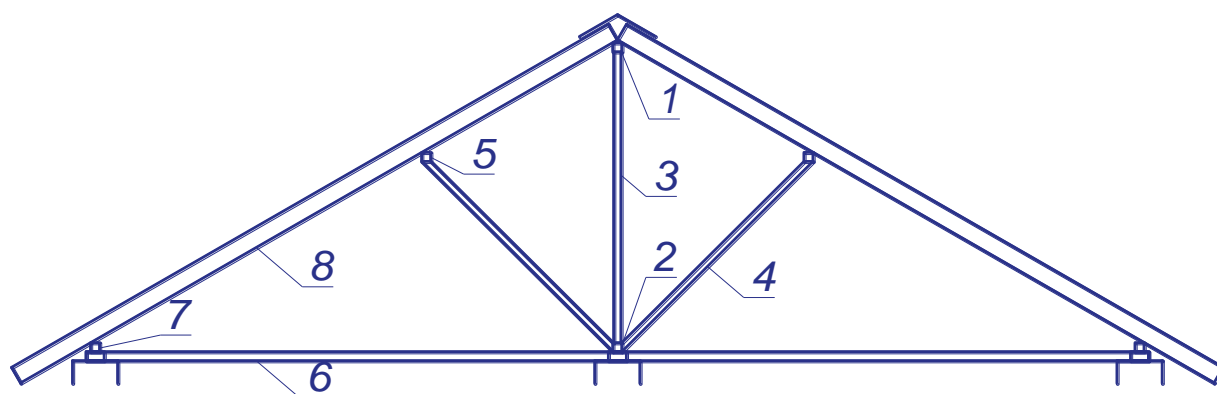


Рис. 1. Пространственно-стержневая система двускатного покрытия:

- 1 – верхний прогон; 2 – нижний прогон; 3 – стойка; 4 – подкос;
- 5 – пролётный прогон; 6 – нижний пояс; 7 – крайний прогон;
- 8 – сплошной неразрезной настил из гнутолистовых профилей

Настил может компоноваться из гнутолистовых тонкостенных профилей толщиной стали от 0,5мм до 1,2мм (ТУ-1122-001-43841810-2009. Профили стальные прокатные гнутые для конструкций покрытий бескаркасных арочных зданий). Гнутолистовой профиль формируется на

механизированном гибочном стане путем профилирования рулонной тонколистовой стали произвольной длины в пределах рулона (рис. 2, 3).



Рис. 2. Рулон тонколистовой стали профилегбочного стана



Рис. 3. Профилегбочный стан формовки гнутолистого профиля

Профиль коробчатого типа снабжается краевыми отгибами для последующего сплачивания настила шовными фальцевыми узлами (рис. 3).

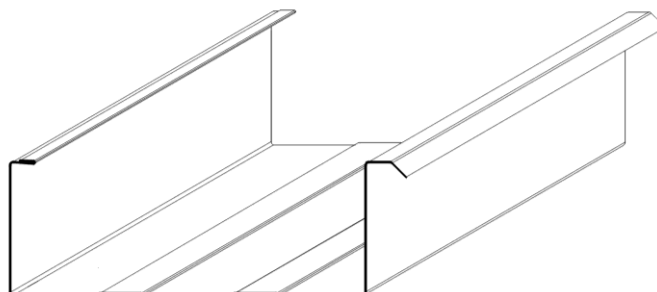


Рис. 3. Гнутолистовой тонкостенный профиль

Сплачивание смежных гнутолистовых профилей производится механизированным способом ручной фальцегибочной машиной. Следует отметить, что компоновка фальцевых шовных узлов осуществляется пластическим деформированием отгибов кромок гнутого профиля с обжатием [3]. Настилы из гнутых тонкостенных профилей предусматривают укрупнительную сборку из нескольких профилей в пределах необходимых габаритов модульного блока (рис. 4). Соответственно, габаритные размеры блока определяется кратностью ширины гнутолистового профиля настила.

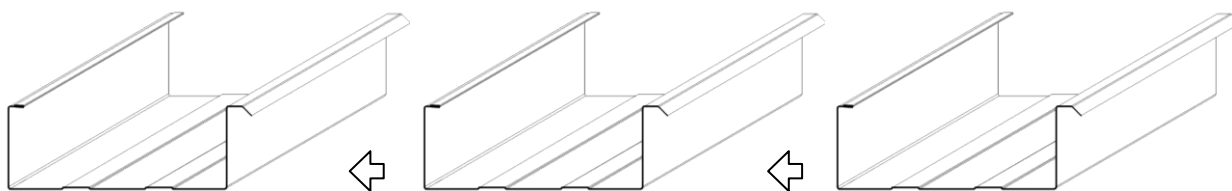


Рис. 4. Сплачивание гнутолистовых тонкостенных профилей

Настил из гнутолистовых тонкостенных профилей может эффективно использоваться в конструкциях кровли с уклоном скатов от  $12^\circ$  до  $30^\circ$ . Герметичность покрытия обеспечивается плотной вальцовкой фальцевых

шовных узлов сопряжения гнутолистовых профилей. При этом следует предусматривать карнизный вылет не менее 0,6 м.

Пространственно-стержневая система модульного блока формируется отдельными элементами из составных прокатных и гнутосварных трубчатых профилей. Типизация, которая сводится к использованию трубчатых стержней единого профиля, значительно упрощает сборочный процесс и монтаж. Повышение эффективности применения таких систем обеспечивается высокой индустриальной подготовкой элементов для сборки за счет уменьшения количества операций обработки и подгонки элементов при образовании конструкций узловых сопряжений на строительной площадке.

Прогоны модульных блоков, являются формообразующими элементами пространственно-стержневой системы в продольном направлении конструкции покрытия и определяют её пространственную жёсткость и неизменяемость.

В настоящее время разработаны несколько конструктивных решений узлов сопряжения прогонов для образования покрытия на основе постановки регулярных блоков. Наименее трудоемкими являются решения с бесфасоночными узловыми сопряжениями.

Пролётные прогоны подкрепляются подкосами, которые в зависимости от ширины модульного блока могут быть одиночными и спаренными. При устройстве двускатного покрытия из модульных блоков с одиночными подкосами необходимо предусмотреть постановку связей или связевых систем для обеспечения пространственной неизменяемости покрытия в продольном направлении. При использовании спаренных подкосов и стоек такая необходимость отпадает, однако следует учитывать, что минимальное значение угла схода смежных элементов должна составлять не менее 30°.

---

Узлы сопряжения стержней системы могут выполняться как бесфасоночными, так и с использованием узловых пластинчатых фасонок [4]. Крепление неразрезных настилов к прогонам пространственно-стержневой системы осуществляется при помощи фасонок с болтовым соединением. Расположение пластинчатых фасонок осуществляется в полостях, между стенками сплавляемых гнутолистовых тонкостенных профилей настила [5].

### **Проектные и расчётные положения двускатного покрытия**

Предпосылки расчётного обоснования модульного блока должны предусматривать обеспечение совместной работы пространственно-стержневой системы и двускатного несущего настила из гнутолистовых тонкостенных профилей.

Учитывая особенности компоновки конструктивной системы двускатной пространственно-стержневой конструкции, алгоритм расчётного обоснования предполагает оценку несущей способности регулярного модульного блока.

1. *Компоновка расчётной схемы модульного блока.* Геометрические параметры конструктивной системы должны отвечать требованиям обеспечения пространственной жёсткости и неизменяемости несущей системы покрытия. Учитываются граничные условия, описывающие сопряжения со смежными регулярными блоками. Ширина пространственно-стержневой системы модульного блока устанавливается в пределах кратности ширины гнутолиствого профиля настила. Оценивается необходимость использования конструктивных элементов: нижнего прогона, либо только его фрагмента для формирования пространственной конструкции узлового сопряжения; одиночного либо спаренного подкоса, а также одиночной или спаренной стойки. При этом производится описание

конструкций узлов стержневых элементов в зависимости от применяемых профилей.

2. *Система нагружения.* Определение действующих нагрузок и форм их приложения в пределах грузовой площади модульного блока. Нормативные и расчётные значения нагрузок определяются согласно действующим нормам проектирования [6]. В среде стандартных комплексов формирование нагружения расчётной схемы предусматривается в виде поверхностной нагрузки по плоскости пластинчатых оболочечных элементов двускатного настила [7].

3. *Обоснование расчётной модели модульного блока.* Расчётная модель, реализуемая в среде стандартных расчетных комплексов, представляет собой пространственно-стержневую систему с разнотипными конечными элементами [8]. Стержневая модель komponуется из стержневых конечных элементов произвольного типа с сопряжением в узлах [9, 10]. Основа скатного настила из гнутолистовых профилей формируется моделью с аппроксимацией формы и описывается оболочечными элементами треугольной и трапециевидной формы [11]. При этом описание совместной работы пространственно-стержневой и пластинчатой моделей блока может осуществляться объединением перемещением общих точек в местах установки опорных фасонок.

Следует отметить, что стержневые элементы также могут описываться сетчатой системой оболочечных конечных элементов.

4. *Оценка результатов.* Анализ напряженно-деформированного состояния расчётной модели производится на основе результатов расчётов в среде стандартных комплексов, представленных в виде



усилий стержневых элементов и в виде напряжений пластинчатых элементов.

Оценка полученных результатов производится после сопоставления расчётных данных в едином ключе.

5. *Обоснование принимаемых стержневых профилей.* Анализ назначения профилей должен согласовываться с рациональным выбором конструктивных решений по компоновке узловых сопряжений и технологическими возможностями производства. При этом учитываются конструктивные решения, которые позволяют реализовать модульную систему с высоким уровнем транспортной подготовки и безопасности перевозки [12].
6. *Расчёт узлов сопряжения.* Оценка несущей способности узлов сопряжения стержневых элементов модуля производится из условия прочности соединений с учётом конструктивных особенностей узловых сопряжений и значений расчётных усилий [13, 14]. Расчёт узлов сопряжения двускатного настила из гнутолистовых тонкостенных профилей со стержневой системой модульного блока производится из условия обеспечения прочности болтового соединения и прочности крепления сварных швов прикрепления фасонки по положениям действующих норм проектирования.

$$R_u \leq \begin{cases} R_b \\ R_w \end{cases}, (1)$$

где  $R_b$  – значение, определяющее несущую способность болтового соединения;  $R_w$  – значение, определяющее несущую способность сварных швов прикрепления фасонки к стержневым элементам конструкции модульного блока.

При оценке несущей способности болтового сопряжения настила из гнутолистовых профилей и узловой пластинчатой фасонки следует

---

учитывать возможность установки как одного болта, так и нескольких с соблюдением правил расстановки болтов, что, в свою очередь, предполагает увеличение габаритов фасонки.

$$R_b = n \cdot R_{b,i}, (2)$$

где  $R_{b,i}$  – значение, определяющее несущую способность одного болтового соединения в многоболтовом соединении;  $n$  – количество болтов в соединении.

По результатам экспериментальных исследований основным критерием несущей способности узловых сопряжений гнутолистовых профилей и пластинчатой фасонки является условие смятия болтом материала гнутолистового профиля [5].

Расчёт узлов опирания определяется условиями обеспечения прочности соединений с учётом конструктивных особенностей узловых сопряжений и значений расчётных усилий.

7. Расчёт доставки. Оценка логистических затрат должна учитывать габаритные и грузовых параметры транспорта.

### Общие выводы

Конструктивное решение двускатного покрытия с пространственно-стержневой системой модульной компоновки позволяет обеспечить высокую заводскую подготовку строительных конструкций.

1. Формирование двускатного покрытия путем последовательной установки монтажных блоков с габаритами в пределах кратности монтажной ширины гнутолистового профиля настилов.
2. Выбор профилей пространственно-стержневой системы из условия компоновки бесфасоночных узлов и изготовления.
3. Компоновка конструкции регулярных модулей двускатного покрытия с учётом грузовых и габаритных параметров транспорта.

Одним из направлений по повышению эффективности является применение типовых элементов и узлов их сопряжения в рамках обеспечения высокой точности постановки монтажных блоков в проектное положение, включая рациональное использование грузовых и габаритных параметров транспорта.

### **Заключение**

Использование легкой конструкции покрытия с конструктивной формы модульной компоновки позволяет расширить возможности реализации реконструкции жилых зданий типовой застройки с малоуклонной кровлей без значительного увеличения нагрузки на фундамент.

Конструктивное решение позволяет реализовать на строительной площадке укрупнительную сборку двускатного покрытия, сводя к минимуму использование многодельного ручного труда и повышая безопасность производства строительных работ [15, 16].

Перспективным направлением развития пространственно-стержневых комбинированных систем двускатных покрытий заключается в возможности увеличения пролётов при сохранении минимального угла наклона ската, конструирование узловых бесфасоночных сопряжений для индустриального изготовления и монтажа в условиях строительной площадки. При этом дальнейшие исследования целесообразно рассматривать в рамках более детального моделирования конструктивных элементов [17, 18].

### **Литература**

1. Лихтарников Я.М. Металлические конструкции. Методы технико-экономического анализа при проектировании. – М.: Стройиздат, 1986, 264 с.
2. Гуреева М.А. Основы экономики транспорта. – М.: Академия, 2014. – 188 с.



3. Айрумян Э.Л., Беляев В.Ф. Эффективные холодногнутые профили из оцинкованной стали - в массовое строительство // Монтажные и специальные работы в строительстве, М., 2005 - № 10,- С. 10-18.

4. Новиков В.И., Ковтуненко В.А. Прочность и расчёт сварных бесфасоночных узлов. Автоматическая сварка, 1969, №9, С. 70-71.

5. Копаница Д.Г., Мелёхин Е.А. Методика экспериментальных исследований узлов бескаркасных покрытий цилиндрических оболочек из гнутолистовых тонкостенных профилей. Вестник ТГАСУ, №1(48), 2015, С.102-114.

6. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения. В.Н. Гордеев, А.И. Лантух-Лященко, В.А. Пашинский, А.В. Перельмутер, С.Ф. Пичугин; Под общей редакцией А.В. Перельмутера. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. – 482 стр.

7. Проектно-вычислительный комплекс Structure CAD для Windows (SCAD Group). Руководство пользователя, Киев, 1999, 345 с.

8. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчётные модели сооружений и возможность их анализа. – Киев, Изд-во «Сталь», 2002. – 600 с.

9. Рикардс Р.Б. Метод конечных элементов в теории оболочек и пластин. – Рига: Зинатне, 1988. – 284 с.

10. Поляков Л.П., Файнбург В.М. Моделирование строительных конструкций. Киев, «Будівельник», 1975, 160 с.

11. Копаница Д.Г., Мелёхин Е.А. Основные предпосылки экспериментальных исследований конструкций опорных узлов покрытий из гнутолистовых профилей. Сборник материалов международной научной конференции: Наука современности – 2015, Россия, г. Москва, 29-30 января 2015 г. С. 128-137.

12. Мелёхин Е.А. Модульные трёхгранные фермы плоских покрытий. Вестник ТГАСУ Т. 23, № 2, 2021, С. 65-78.

---

13. Соболев Ю.В., Мурашко Н.Н. К расчёту напряжённо-деформированного состояния узлов трубчатых ферм. Известия вузов. Строительство и архитектура. 1975, №11, С. 3 – 10.

14. Соболев Ю.В., Мурашко Н.Н. Теоретическое исследование бесфасоночного Т-образного узла трубчатой фермы. Известия вузов. Строительство и архитектура. 1976, №8, С. 8 – 17.

15. Абрамян С.Г., Илиев А.Б. Основные требования к быстровозводимым строительным системам // Инженерный вестник Дона. 2017. №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4426](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4426).

16. Matsumura S. et al. Technological developments of Japanese prefabricated housing in an early stage // Japan Architectural Review. – 2019. – t. 2. – №.1.– pp.52-61. URL: [researchgate.net/publication/328286658\\_Technological\\_developments\\_of\\_Japanese\\_prefabricated\\_housing\\_in\\_an\\_early\\_stage](https://researchgate.net/publication/328286658_Technological_developments_of_Japanese_prefabricated_housing_in_an_early_stage).

17. Li Z., Ádány S. and Schafer, B.W. Modal identification for shell finite element models of thin-walled members in nonlinear collapse analysis // ThinWalled Structures, Volume 67, June 2013, pp. 15-24.

18. Устименко Е.Е., Скачков С.В. Метод конечных элементов модели тонкостенного профиля с полками объемного фасонного элемента // Инженерный вестник Дона, 2019, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2019/5768](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2019/5768).

## References

1. Lihtarnikov YA.M. Metallicheskie konstrukcii. Metody tekhniko-ekonomicheskogo analiza pri proektirovanii [Metal structures. Methods of technical and economic analysis in the design]. M.: Strojizdat, 1986, 264 p.
2. Gureeva M.A. Osnovy ekonomiki transporta. M.: Akademiya, 2014.88 p.
3. Ajrumyan E.L., Belyaev V.F. Effektivnye holodnognutye profili iz ocinkovannoj stali – v massovoe stroitel'stvo. Montazhnye i special'nye raboty v stroitel'stve. M., 2005, № 10, P. 10-18.
4. Novikov V.I., Kovtunenکو V.A. Prochnost' i raschyot svarnyh besfasonochnyh uzlov. Avtomaticheskaya svarka, 1969, №9, P. 70-71.
5. Kopanica D.G., Melyokhin E.A. Metodika eksperimental'nyh issledovanij uzlov beskarkasnyh pokrytij cilindricheskikh obolochek iz gnutolistovykh tonkostennykh profilej. Vestnik TGASU, №1(48), 2015, P.102-114.
6. Nagruzki i vozdejstviya na zdaniya i sooruzheniya [Loads and impacts on buildings and structures]. V.N. Gordeev, A.I. Lantuh-Lyashchenko, V.A. Pashinskij, A.V. Perel'muter, S.F. Pichugin; Pod obshchej redakciej A.V. Perel'mutera. M.: Izdatel'stvo Associacii stroitel'nyh vuzov, 2007, 482p.
7. Proektno-vychislitel'nyj kompleks Structure CAD dlya Windows (SCAD Group) [Design and computing complex Structure CAD for Windows (SCAD Group)]. Rukovodstvo pol'zovatelya, Kiev, 1999, 345 p.
8. Perel'muter A.V., Slivker V.I. Raschyotnye modeli sooruzhenij i vozmozhnost' ih analiza [Design models of structures and the possibility of their analysis]. Kiev, Izd-vo «Stal'», 2002. 600 p.
9. Rikards R.B. Metod konechnyh elementov v teorii obolochek i plastin [The finite element method in the theory of shells and plates]. Riga: Zinatne, 1988. 284 p.
10. Polyakov L.P., Fajnburg V.M. Modelirovanie stroitel'nykh konstrukcij [Modeling of building structures]. Kiev, «Budivel'nik», 1975, 160 p.



11. Kopanica D.G., Melyokhin E.A. Osnovnye predposylki eksperimental'nyh issledovaniy konstrukcij opornyh uzlov pokrytij iz gnutolistovyh profilej. Sbornik materialov mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii: Nauka sovremennosti, 2015, Rossiya, Moskva, 29-30 yanvarya 2015 g. pp. 128-137.

12. Melyokhin E.A. Modul'nye tryohgrannye fermy ploskih pokrytij. Vestnik TGASU, T. 23, № 2, 2021, pp. 65-78.

13. Sobolev YU.V., Murashko N.N. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arhitektura, 1975, №11, pp. 3-10.

14. Sobolev YU.V., Murashko N.N. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arhitektura. 1976, №8, pp. 8-17.

15. Abramyan S.G., Iliev A.B. Inzhenernyj vestnik Dona. 2017. №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4426](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4426).

16. Matsumura S. et al. Japan Architectural Review. 2019. t. 2. №.1. pp.52-61. URL: [researchgate.net/publication/328286658\\_Technological\\_developments\\_of\\_Japanese\\_prefabricated\\_housing\\_in\\_an\\_early\\_stage](https://www.researchgate.net/publication/328286658_Technological_developments_of_Japanese_prefabricated_housing_in_an_early_stage).

17. Li Z., Ádány S. and Schafer, B.W. ThinWalled Structures, Volume 67, June 2013, pp. 15-24.

18. Ustimenko E.E., Skachkov S.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2019, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2019/5768](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2019/5768).