УДК 624

ОДНОЭТАЖНЫЕ И ДВУХЭТАЖНЫЕ ШПРЕНГЕЛИ: ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

♦♦♦♦♦

SINGLE-STOREY AND DOUBLE-STOREY SPANGLES: PRINCIPLES OF DESIGN AND APPLICATION IN CONSTRUCTION

Долгополов Василий Евгеньевич
старший преподаватель кафедры
архитектуры гражданских и промышленных зданий
имени А.В. Титова,
Кубанский государственный технологический университет
dolgopolov_v@icloud.com

Кайшева Виктория Александровна
студентка факультета архитектуры,
строительства и автомобильных дорог,
Кубанский государственный технологический университет
k_viktoriya3004@mail.ru

Аннотация. Данная статья посвящена обзору принципов проектирования и применения одноэтажных и двухэтажных шпренгелей в строительстве. Рассмотрены исторические аспекты развития шпренгельных систем, их конструктивные особенности, принципы работы и механические свойства используемых материалов, таких как сталь и древесина. Проанализированы достоинства и недостатки различных типов шпренгельных ферм, а также их практическое применение в современных архитектурных решениях.

Ключевые слова: шпренгели, одноэтажные фермы, двухэтажные фермы, строительные конструкции, конструктивные особенности.

Dolgopolov Vasily Evgenievich
Senior Lecturer at the Department
of Architecture of Civil
and Industrial Buildings
named after A.V. Titov,
Kuban State Technological University
dolgopolov_v@icloud.com

Kaisheva Victoria Alexandrovna
Student at the Faculty of Architecture,
Construction and Highways,
Kuban State Technological University
k_viktoriya3004@mail.ru

Annotation. This article is devoted to an overview of the principles of design and application of single-storey and two-storey spangles in construction. The historical aspects of the development of springboard systems, their design features, principles of operation and mechanical properties of the materials used, such as steel and wood, are considered. The advantages and disadvantages of various types of spring farms are analyzed, as well as their practical application in modern architectural solutions.

Keywords: sprengels, single-storey farms, two-storey farms, building structures, structural features.

Шпренгель представляет собой незамкнутую стержневую систему треугольной или полигональной формы, присоединяемую к основным несущим элементам строительной конструкции. Преимущественно применяется как составная часть шпренгельной системы, которая при его удалении остается геометрически неизменяемой (рис. 1).

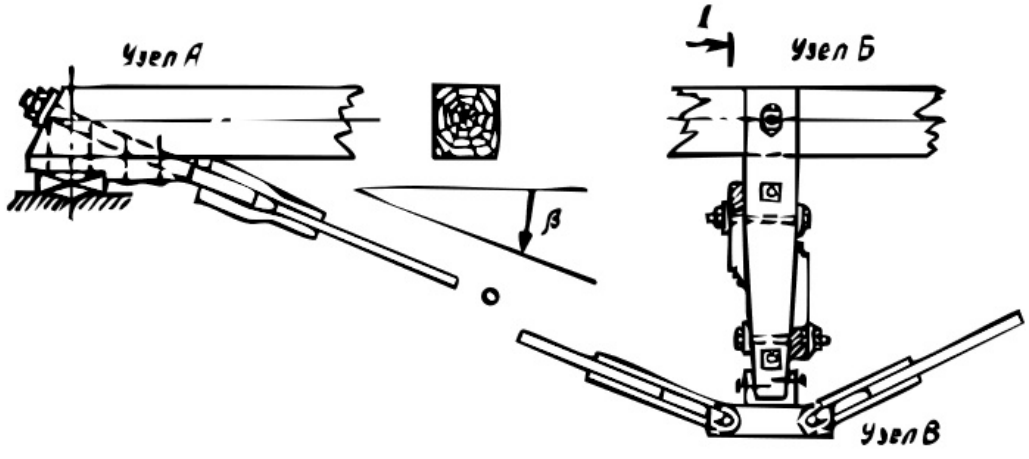

Рисунок 1 – Узлы шпренгельных балок

Назначение:

– увеличение числа узлов в поясах ферм (при необходимости подвески кранового оборудования);

– повышение несущей способности и жесткости изгибаемых конструкций;

– уменьшение гибкости колонн при их работе на продольный изгиб [1].

В современных архитектурных решениях подобные системы позволяют создавать более сложные и уникальные формы элементов сооружений, не жертвуя при этом их прочностью и устойчивостью.

Краткий исторический очерк появления шпренгельных систем

Из истории развития металлических конструкций

В конце XVII – начале XVIII века в России широко применялись железные стропила в промышленных зданиях. Эти конструкции не являлись фермами: состояли из насланных железных ног, подпертых стойками, которые в свою очередь опирались на нижнее сводчатое перекрытие или окружающую своды конструкцию, и перекрывали достаточно большие пролеты (до 20 м).

Первые железные покрытия промышленных зданий в России появились в 1757 г. на Кыштымском заводе. Именно в результате эволюции насланных железных стропил XVII и XVIII вв. здесь возникли стропильные фермы. Стойки имели разнообразные крепления, поскольку длинные стержни плохо работают на сжатие. Уже в середине XVIII в. опирание на свод было признано неэффективным, и стойки подвешивали с помощью тяг к опорным точкам стропил. Таким образом возникла шпренгельная ферма.

К созданию фермы из двух полуферм, соединенных затяжкой, привело объединение двух шпренгельных систем. Этот процесс развития стропильных конструкций нашел свое завршение в перекрытиях Зимнего дворца в Петербурге, восстановленного после пожара в 1837 году [2].

Во второй половине XIX века Россия стала лидером в железнодорожном строительстве. Однако существовавшие деревянные мосты не справлялись с возросшими требованиями к нагрузкам, а для каменных сооружений не было благоприятных условий. Поэтому широкое применение получили металлические мосты. Появляется более качественная литая сталь.

Профессор Н.А. Белелюбский (1845–1922 гг.), русский инженер и ученый, спроектировал несколько крупнейших мостов, усовершенствуя мостовые фермы. В то время как мосты в Европе имели в основном трех- и многораскосные решетки, мосты через реки Оку у Алексино, Волгу у Сызрани, Белую у Уфы и др. имели преимущественно пролетные строения с двухраскосной системой решетки. Были изменены направления раскосов в опорной панели, вводилось шарнирное опирание поперечных балок на пояса ферм.

Дальнейшее сокращение числа раскосов в панели для мостов с большими пролетами привело к проблеме слишком крупных панелей. Эти затруднения ликвидировал профессор Л.Д. Проскуряков (1858–1926 гг.), который предложил ввести шпренгели в решетку. При определении усилий в фермах впервые применялись линии влияния.

Енисейский мост с шестью пролетами по 144,5 метра стал примером успешного применения шпренгельной решетки, которая затем получила распространение как в России, так и в Европе. В 1900 году модель моста была представлена на Парижской выставке, на которой автора проекта наградили Золотой медалью [3].

Принципы работы шпренгелей

Усилия в стержнях ферм способом моментной точки определяются по формуле:

$$N = \pm\frac{M}{r},$$

где M – момент левых и правых сил относительно моментной точки; r – плечо усилия N относительно этой точки.

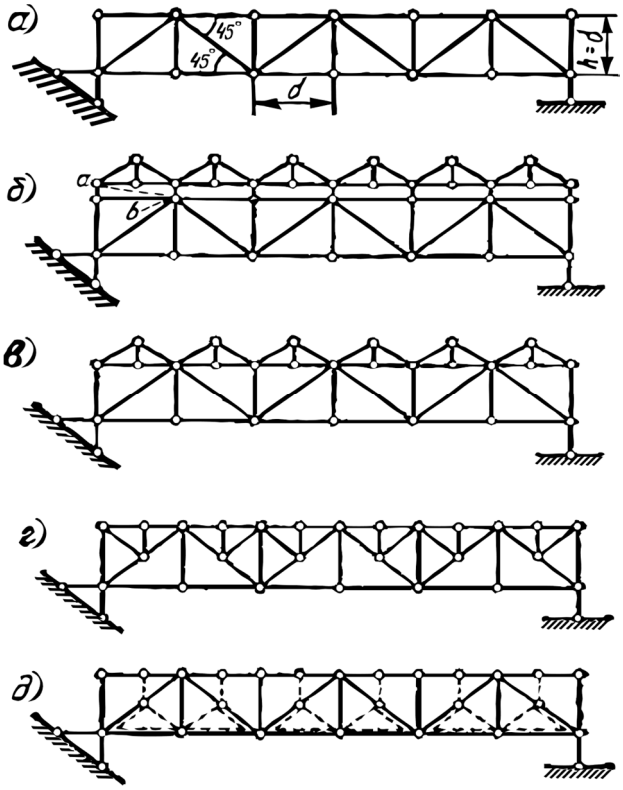

Рисунок 2 – Введение шпренгелей в ферму

Из формулы можно определить, чем больше значение величины *r*, тем меньше усилие N при прочих равных условиях.

Увеличение высоты фермы приводит к увеличению плеч и уменьшению усилий в её элементах. Раскосы фермы располагают под углом 45° к стойкам и поясам. Следовательно, увеличение высоты ферм приводит к увеличению размеров панелей (длина панели должна быть равна высоте фермы с параллельными поясами) (рис. 2, а), соответственно растет значение общей массы конструкции.

Для рационального решения задачи увеличения высоты фермы целесообразно ввести шпренгели, которые будут опираться на узлы основной фермы. Стержни работают на местную нагрузку, приложенную в пределах и пролетов. В узлы, являющиеся для шпренгеля опорами, вертикальная местная нагрузка предается вертикально в узлы основной фермы. Для обеспечения геометрической неизменяемости необходим стержень ab (штриховая линия (рис. 2, б)), причем усилие в нем равно нулю.

Если убрать стержни ab и сократить длину вертикальных стержней шпренгелей, получим ферму (рис. 2, в). Перевернув шпренгели, обнаружим шпренгельную ферму (рис. 2, г), предназначенную для передачи местных вертикальных нагрузок, приложенных к верхним дополнительным узлам, непосредственно в верхние узлы основной фермы. В классификации такие шпренгели называются одноярусными (одноэтажными).

Существуют также двухъярусные (двухэтажные) шпренгели, которые могут передавать нагрузку с верхних узлов на нижние узлы основной фермы (как показано на рисунке (рис. 2, д)), или же перенаправлять нагрузку с дополнительных узлов нижнего пояса на верхние узлы основной фермы.

Конструктивные элементы ферм, содержащих одноярусные шпренгели, классифицируются на три группы:

- I категория: элементы основной фермы: усилия рассчитываются только в основной ферме и не зависят от наличия шпренгелей;
- II категория: элементы шпренгелей: при расчете усилий шпренгель рассматривается как отдельная двухопорная ферма;
- III категория: общие элементы: усилие является суммой двух усилий от основной фермы и от шпренгеля.

При расчете двухъярусных шпренгелей, используются четыре категории: аналогичные перечисленным и IV категория, составляющими которой являются те элементы I категории, линии влияния которых имеют отличие при перемещении силы P = 1 по верхнему и нижнему поясам [4].

Достоинства и недостатки шпренгелей

Для расчета одноэтажных шпренгелей: при выборе основной решетки все приложенные в узлах силы перераспределяются по половине в соседние узлы основной решетки того же грузового пояса (рис. 3).

Достоинства:

- простота конструкции, так как шпренгель – это фермочка, заменяющая стержни грузового пояса;
- работают только на местную нагрузку, то есть на нагрузку, прикладываемую к их узлам.

Недостатки:

- не позволяют передать нагрузку на узлы незагруженного пояса фермы.

Для двухэтажных шпренгелей: узловые силы передаются по половине в узлы ненагруженного пояса фермы (рис. 3).

Достоинства:

- позволяют передать нагрузку на узлы незагруженного пояса, что может быть полезно, если нагрузка действует на нижний пояс фермы;
- повышают жёсткость конструкции, так как шпренгели работают на местную нагрузку, что уменьшает прогиб.

Недостатки:

более сложная конструкция, так как шпренгель – это ферма на двух опорах, что требует учёта при расчёте [5, 6].

В обоих случаях опорные реакции остаются неизменны [7].

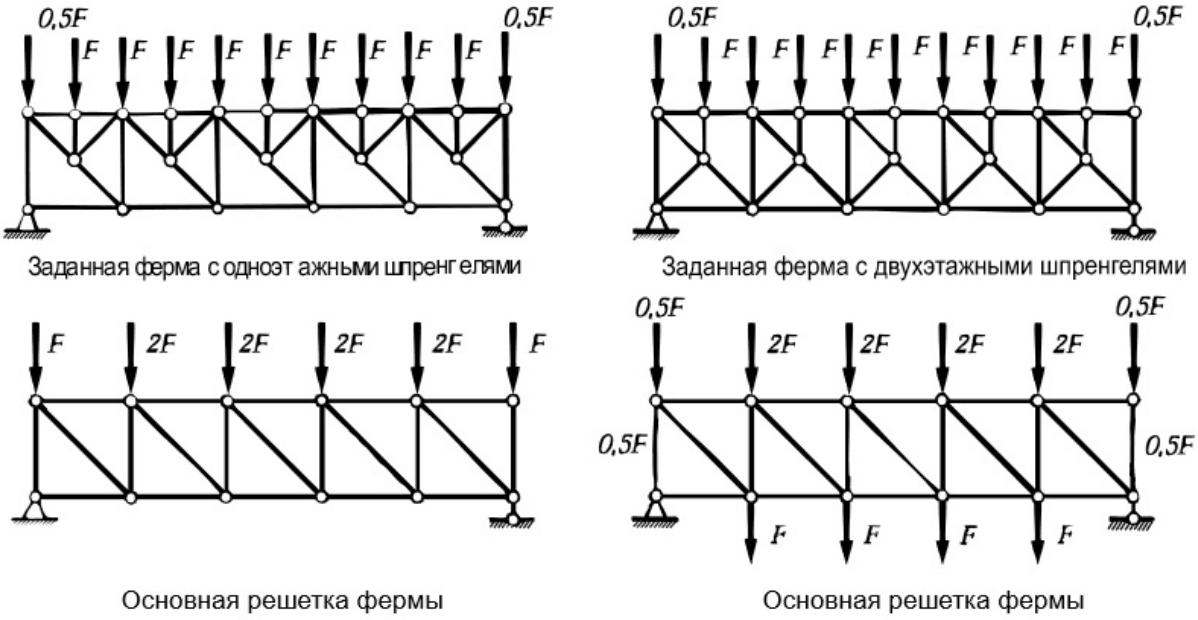

Рисунок 3 – Выбор основных решеток шпренгельных ферм и их эквивалентные загружения

Механические свойства материалов, используемых в шпренгелях

Сталь

Механические свойства стали, которые могут быть важны для шпренгелей:

- **Прочность** – сопротивление материала внешним силовым воздействиям без разрушения;
- **Упругость** – свойство материала восстанавливать свою первоначальную форму после снятия внешних нагрузок;

- **Пластичность** – свойство материала сохранять несущую способность в процессе деформирования;
- **Твёрдость** – свойство, которое зависит от доли углерода и технологии производства (например, температуры закалки);
- **Усталость** – степень накопления повреждений из-за циклических нагрузок, которые провоцируют формирование трещин;
- **Хрупкость** – степень разрушений, возникающих из-за внешних сил и не сопровождающихся пластическими деформациями.

На свойства стали влияют химический состав, режимы термообработки и структурное состояние [8].

Древесина

Механические свойства древесины, которые могут быть важны для шпренгелей:

- **Прочность** – сопротивление действию механических сил: растяжению, сжатию, изгибу, скалыванию. Древесина – анизотропный материал, поэтому её прочность зависит от направления действия усилий по отношению к волокнам;
- **Деформативность** – способность древесины изменять свои размеры и форму при воздействии. При кратковременных нагрузках в древесине возникают преимущественно упругие деформации, которые после нагрузки исчезают;
- **Ударная вязкость** – способность поглощать работу при ударе без разрушения. Древесина лиственных пород в среднем имеет ударную вязкость в 2 раза большую, чем у хвойных пород;
- **Износостойкость** – способность древесины сопротивляться износу, то есть постепенному разрушению её поверхностных зон при трении. У влажной древесины износ больше, чем у сухой [9, 10].

Подводя итог, можно сделать вывод, что выбор между одноэтажными и двухэтажными шпренгельными фермами зависит от множества факторов, включая назначение постройки, доступное пространство, условия эксплуатации и финансовые возможности. Одноэтажные фермы чаще всего являются более простыми в строительстве и обслуживании, что позволяет быстрее реализовать проект и снизить затраты. В то же время, двухэтажные шпренгельные фермы могут существенно увеличить полезную площадь без необходимости расширять строительный участок, что особенно важно в условиях ограниченного пространства.

Учитывая постоянно развивающиеся технологии и новые подходы в строительстве, шпренгельные фермы продолжают оставаться эффективными решениями для создания надежных и функциональных зданий и сооружений.

Шпренгели также могут стать визуальным акцентом архитектурного решения, подчеркивающим эстетичность и современность.

Важно отметить, что правильный выбор типа фермы должен основываться на тщательном анализе потребностей и целей эксплуатации, а также на объективной оценке характеристик каждого типа конструкции.

Литература

1. Словари и энциклопедии на Академике: «Шпренгель». – URL : https://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/152150 (дата обращения 30.03.2026).
2. Из истории развития металлических конструкций. – URL : https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/33201/Iz_istorii_razvitiya_metallicheskih_konstrukcij.pdf?sequence=1 (дата обращения 30.03.2026).
3. Мосты на железных дорогах. Электронный учебник. – URL : https://vuts-miit.ru/library/special/Мосты_на_железных_дорогах.pdf (дата обращения 30.03.2026).
4. Строительная механика. Конспект лекций для студентов специальности 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство» дистанционной формы обучения. – URL : http://cdo.bru.by/course/distan/PGS/stroitelnaja_mechanika_7sem_pgsdz/Fail/lekcher.pdf (дата обращения 02.04.2026).
5. Статически определимые плоские фермы. – URL : https://studfile.net/preview/10419681/page:2 (дата обращения 30.03.2026).

6. Шпренгельные фермы. Определение усилий в стержнях шпренгельных ферм. – URL : https://helpiks.org/9-64383.html (дата обращения 04.04.2026).
7. Молдаванов С.Ю. Строительная механика в примерах и задачах. – Ч. 1. Расчет статически определимых шарнирно-стержневых систем : учебное пособие / С.Ю. Молдаванов, В.Е. Долгополов. – Краснодар : Изд. ФГБОУ ВО «КубГТУ», 2020. – 368 с. (дата обращения 07.04.2026).
8. Лесная В.И. Изучение диаграммы растяжения малоуглеродистой стали: лабораторные работы для студентов специальности 08.03.01 «Строительство» : практикум / В.И. Лесная; Политехнический институт (Школа) ДВФУ. – Владивосток : Изд-во Дальневосточного федерального университета, 2020. – 22 с. (дата обращения 07.04.2026).
9. Лекция 3. Физические и механические свойства древесины. Виды и свойства строительной фанеры. – URL : http://sdo.rimsou.ru/pluginfile.php/18736/mod_resource/content/1/Лекция%203.pdf (дата обращения 03.04.2026).
10. Механические свойства древесины. – URL : https://studfile.net/preview/2995268/page:9 (дата обращения 04.04.2026).

References

1. Dictionaries and encyclopedias on Academician: «Sprengel». – URL : https://dic.academic.ru/dic.nsf/bse/152150 (date of application 30.03.2026).
2. From the history of the development of metal structures. – URL : https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/33201/Iz_istorii_razvitiya_metallicheskih_konstrukcij.pdf?sequence=1 (date of application 30.03.2026).
3. Bridges on railways. Electronic textbook. – URL : https://vuts-miit.ru/library/special/Мосты_на_железных_дорогах.pdf (date of application 30.03.2026).
4. Structural mechanics. Lecture notes for students of the specialty 1-70 02 01 «Industrial and civil construction" of distance learning. – URL : http://cdo.bru.by/course/distan/PGS/stroitelnaja_mechanika_7sem_pgsdz/Fail/lekcher.pdf (date of application 02.04.2026).
5. Statically determinate plane trusses. – URL : https://studfile.net/preview/10419681/page:2 (date of application 03/30/2026).
6. Truss bars. Determination of forces in truss bars. – URL : https://helpiks.org/9-64383.html (date of application 04/04/2026).
7. Moldavanov S.Yu. Structural mechanics in examples and problems. – Part 1. Calculation of statically determinate hinge-bar systems: a tutorial / S.Yu. Moldavanov, V.Ye. – Krasnodar : Publ. FGBOU VO «KubSTU», 2020. – 368 p. (date of application 04/07/2026).
8. Lesnaya V.I. Study of the stress-strain diagram of low-carbon steel: laboratory work for students of the specialty 08.03.01 «Construction»: workshop / V.I. Lesnaya; Polytechnic Institute (School) of FEFU. – Vladivostok: Publishing house of the Far Eastern Federal University, 2020. – 22 p. (date of application 07.04.2026).
9. Lecture 3. Physical and mechanical properties of wood. Types and properties of construction plywood. – URL : http://sdo.rimsou.ru/pluginfile.php/18736/mod_resource/content/1/Лекция%203.pdf (date of application 03.04.2026).
10. Mechanical properties of wood. – URL : https://studfile.net/preview/2995268/page:9 (date of application 04.04.2026).