

УДК 624.014.2

О. В. ЯКУБА, А. В. ОВСЯННИКОВА, В. З. ВЕЛИЧКИН, И. С. ПТУХИНА
Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ПЕРЕКРЫТИЯ БОЛЬШЕПРОЛЕТНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Потребность в быстром возведении промышленных, спортивных большепролетных сооружений растет с каждым годом. В связи с этим инженер всегда должен уметь быстро планировать будущий конструктив здания. Немаловажную роль играет выбор перекрытия. При планировании необходимо не только учитывать все факторы и грамотно рассчитывать перекрытие, но и одновременно стремиться к минимизации затрат на строительство. В данной статье рассматривается расход металла на каждое перекрытие и определяется эффективность использования перекрытия, учитывая полезный объем здания. В статье рассмотрены четыре вида перекрытий. В зависимости от пролета найден объем металла, используемый каждым перекрытием. Произведен подсчет объема пространства, занимаемого строением, при высоте 14 м и шаге 6 м. Учитывая высоту перекрытия, найден полезный объем сооружения. Произведено сравнение перекрытий по расходу металла и сравнение по эффективности использования, учитывая полезный объем сооружения. Определено наиболее экономичное и наиболее эффективное перекрытие.

строительные конструкции, стальные конструкции, большепролетные сооружения, перекрытия, расход материала, эффективность использования материала, экономичное перекрытие

ВВЕДЕНИЕ

Большепролетные металлоконструкции в современном строительстве делятся на следующие типы: металлоконструкции специального назначения (промышленного потенциала, башни и т. д.), нестандартные металлоконструкции (эстакады, строительство мостов), быстровозводимые здания (промышленные, торговые, спортивные сооружения) [3].

Конструктив таких сооружений зачастую сложнее и требует особого внимания и технических решений. Надо учитывать такие факторы, как транспортировка, изготовление, монтаж, трудозатраты, нагрузка на фундаменты, расход материала и др. [4].

Бесспорно, одной из проблем, стоящих перед конструктором, является выбор наиболее рационального перекрытия, в том числе и с точки зрения экономичности по расходу материала.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Исследованиями в области металлических большепролетных перекрытий занимались В. Ф. Фомина, Н. В. Сидоров, В. В. Горев и др. [1–5]. Основоположником стал Н. С. Стрелецкий – советский ученый-механик, специалист в области строительных конструкций и мостостроения; член-корреспондент АН СССР (1931).

Однако несмотря на огромный объем исследований в этой области, существует потребность в более четких расчетах по затрате металла на конструкции и выявлении наиболее экономичного перекрытия.

ЦЕЛИ

Целью работы является определение наиболее эффективного перекрытия с минимальным расходом металла. Для этого изучены четыре типа перекрытий и в соответствии с пролетами найден расход металла для каждого из них.

© О. В. Якуба, А. В. Овсянникова, В. З. Величкин, И. С. Птухина, 2015

В работе рассмотрены 4 вида перекрытий: фермы, рамы, арки, пространственные конструкции. И пять пролетов, соответствующие каждому из них: 36, 42, 54, 62, 70 м. Для каждого пролета найден расход металла на перекрытие.

1 Преимущества и недостатки перекрытий

Металл в *фермах* (рисунок 1) используется более рационально, чем в балках, следовательно, они экономичнее по расходу материала, однако из-за большого количества деталей трудоемки в изготовлении [5, 10].

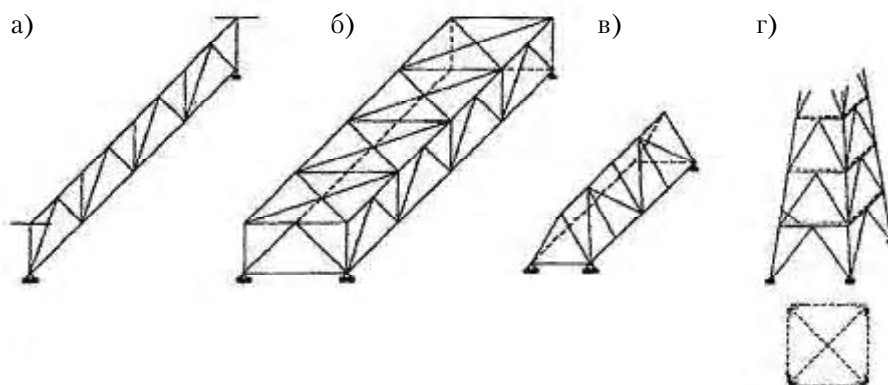


Рисунок 1 – Фермы (В. Л. Зудин [5]).

Перекрытия на **основе рам** (рисунок 2) обладают большой поперечной жесткостью, но для восприятия распора требуются мощные фундаменты из-за чувствительности к осадкам опор [8, 9, 11, 12].



Рисунок 2 – Перекрытие на основе рам

Арки (рисунок 3) имеют меньший расход металла, и, благодаря большой жесткости, прогибы в арках в 2–3 раза меньше, чем в рамах. Недостатком является существенный расход материала на фундаменты и относительно сложный монтаж [9, 15].

Пространственные конструкции (рисунок 4) можно опирать на колонны в любой точке. Способны воспринимать неравномерные, сосредоточенные нагрузки. Имеют повышенную жесткость. Облегчение ограждающих конструкций кровли. Однако трудоемкость изготовления во многих случаях оказывается больше, чем в системах, составленных из плоских конструкций [6, 7, 13, 14].

2 Расчет расхода металла

Нами были рассмотрены типовые проекты большепролетных зданий и сооружений с соответствующим весом перекрытия для каждого из них. Проведена интерполяция и составлена таблица 1 «пролет – перекрытие», на основе которой построен график расхода металла (рисунок 5).



Рисунок 3 – Перекрытие на основе арок.



Рисунок 4 – Пространственная конструкция.

Таблица 1 – Расход стали на перекрытие, кг/м²

Пролет	Ферма	Рама	Арка	Пространственная конструкция
36 м	28,96 кг/м ²	40 кг/м ²	42,9 кг/м ²	36,8 кг/м ²
42 м	33,2 кг/м ²	47,5 кг/м ²	44,1 кг/м ²	38 кг/м ²
54 м	41,8 кг/м ²	60,5 кг/м ²	46,5 кг/м ²	40,35 кг/м ²
62 м	47,42 кг/м ²	71,87 кг/м ²	47,98 кг/м ²	41,9 кг/м ²
70 м	53,1 кг/м ²	88,6 кг/м ²	49,46 кг/м ²	43,5 кг/м ²

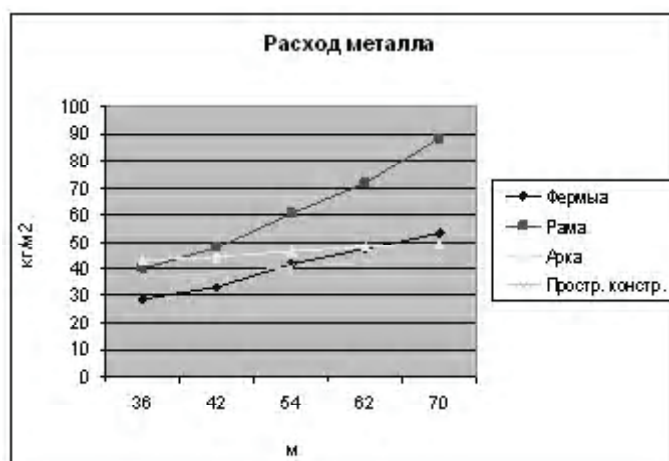


Рисунок 5 – Расход металла на перекрытие.

Для оценки экономической эффективности рассматриваемых видов перекрытия была взята расценка КССЦ-02/15 201-0766 «Отдельные конструктивные элементы зданий и сооружений с преобладанием гнутосварных профилей и круглых труб, средняя масса сборочной единицы от 1 до 3 т» из Раздела 2.01 «Стальные конструкции промышленных и сельскохозяйственных зданий, сооружений и мостов» Каталога средних сметных цен «Севзапстроцена» для Ленинградской области, 2 зона. Цена за 1 т – 29 005,33 руб. (сметная цена на февраль 2015 г.)

Рассчитаем цену 1 м² для каждого типа перекрытия в соответствии с расходом материала. Для пролета 36 м, цена 1 м² перекрытия в виде фермы равна $0,02896 \cdot 29005,33 = 840$ руб., результаты представлены в таблице 2.

При проектировании здания с малыми пролетами наиболее экономически выгодным видом перекрытия является ферма. При увеличении пролета здания наиболее экономически невыгодным для использования видом перекрытия становится рама.

Следующей задачей было нахождение полезного объема здания (пространства здания без учета перекрытия). Для этого произведен подсчет объема пространства, занимаемого строением, при высоте 14 м и шаге 6 м (таблица 2). Для здания с пролетом 36 метров объем будет высчитываться как произведение пролета на высоту и на длину шага: $V_{зд} = 36 \cdot 14 \cdot 6 = 3\,024$ м³.

Таблица 2 – Цена 1 м² в зависимости от расхода стали

Пролет	Ферма	Рама	Арка	Пространственная конструкция
36 м	840,0 руб.	1 160,2 руб.	1 244,3 руб.	1 067,4 руб.
42 м	963,0 руб.	1 377,8 руб.	1 279,1 руб.	1 102,2 руб.
54 м	1 212,4 руб.	1 754,8 руб.	1 348,7 руб.	1 170,4 руб.
62 м	1 375,4 руб.	2 084,6 руб.	1 391,7 руб.	1 215,3 руб.
70 м	1 540,2 руб.	2 569,9 руб.	1 434,6 руб.	1 261,7 руб.

Высота перекрытия принимается: фермы – $1/10 \cdot L$, для рамы – $1/9 \cdot L$, для арки – $1/6 \cdot L$, для пространственных конструкций – $1/5 \cdot L$, где L – длина пролета (таблица 3). Высота фермы равна:

$$H_{\phi} = 36 \cdot 1/10 = 3,6 \text{ м.}$$

Таблица 3 – Расчет объема здания

Объем здания (при $h = 14$ м, шаг 6 м), м ³				
36 м	42 м	54 м	62 м	70 м
3 024 м ³	3 528 м ³	4 536 м ³	5 208 м ³	5 880 м ³

Исходя из высоты перекрытия, посчитан объем, занимаемый им (таблица 4). Объем получен как произведение пролета на высоту перекрытия и на длину шага. Для фермы:

$$V_{\text{пер}} = 36 \cdot 3,6 \cdot 6 = 777,6 \text{ м}^3.$$

Таблица 4 – Расчет высоты перекрытия

Высота перекрытия					
Пролет	36 м	42 м	54 м	62 м	70 м
Ферма	3,6 м	4,2 м	5,4 м	6,2 м	7,0 м
Рама	4 м	4,7 м	6 м	6,9 м	7,8 м
Арка	6 м	7 м	9 м	10,3 м	11,7 м
Пространственная конструкция	7,2 м	8,4 м	10,8 м	12,4 м	14 м

Из объема пространства, занимаемого строением, исключен объем пространства, занимаемый перекрытием, с учетом высоты. Таким образом, найден полезный объем здания (таблица 5). Полезный объем для здания с перекрытием на основе ферм равен:

$$V_{\text{по}} = 3 024 - 777,6 = 2 246,4 \text{ м}^3.$$

Таблица 5 – Расчет объема перекрытия

Объем перекрытия					
Пролет	36 м	42 м	54 м	62 м	70 м
Ферма	777,6	1 058,4	1 749,6	2 306,4	2 940
Рама	864	1 184,4	1 944	2 566,8	3 276
Арка	1 296	1 764	2 916	3 831,6	4 901,4
Пространственная конструкция	1 555,2	2 116,8	3 499,2	4 612,8	5 880

На основе таблицы 6 построен график зависимости полезного объема от перекрытия (рисунок 6).

Таблица 6 – Расчет полезного объема здания

Полезный объем					
Пролет	36 м	42 м	54 м	62 м	70 м
Ферма	2 246,4 м ³	2 469,6 м ³	2 786,4 м ³	2 901,6 м ³	2 940 м ³
Рама	2 160 м ³	2 343,6 м ³	2 592 м ³	2 641,2 м ³	2 604 м ³
Арка	1 728 м ³	1 764 м ³	1 620 м ³	1 376,4 м ³	978,6 м ³
Пространственная конструкция	1 468,8 м ³	1 411,2 м ³	1 036,8 м ³	595,2 м ³	0

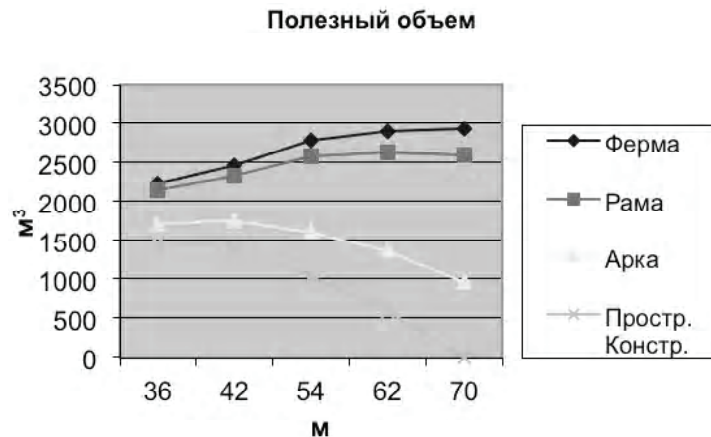


Рисунок 6 – Полезный объем здания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы, можно сделать следующие выводы:

1. При меньших пролетах выгоднее использовать перекрытия на основе ферм, их экономической целесообразности и простоты монтажа (рисунок 5). При больших пролетах целесообразнее применять пространственные конструкции за счет их повышенной жесткости и надежности (рисунок 5). Однако учитывая полезный объем сооружения, использование пространственных конструкций не эффективно (рисунок 6);

2. Таким образом, основываясь на экономичности и эффективности использования пространства, можно сказать, что наиболее целесообразно использование перекрытия на основе ферм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Металлические конструкции [Текст] : учебник для студ. вузов, обучающихся по спец. «Промышленное и гражданское строительство» : В 3 т. Т. 1 : Элементы конструкций / ред. В. В. Горев. – М. : Высшая школа, 2001. – 551 с.
2. Тахтамышев, А. Г. Стальные конструкции [Текст] / А. Г. Тахтамышев, Т. П. Невзорова. – М. : Стройиздат, 2010. – 328 с.
3. Гребенник, Р. А. Монтаж стальных и железобетонных строительных конструкций [Текст] : [учеб. пособие для нач. проф. образования] / Р. А. Гребенник, В. Р. Гребенник. – М. : Academia, 2009. – 286 с. – ISBN 978-5-7695-4963-2.
4. Теличенко, В. И. Технология возведения зданий и сооружений [Текст] / В. И. Теличенко, О. М. Тереньгев, А. А. Лапидус. – М. : Высшая школа, 2004. – 446 с.
5. Зудин, В. Л. Металлические конструкции [Текст] / В. Л. Зудин. – Я. : ЯГТУ, 2011. – 840 с.
6. Tien T. Lan. Space Frame Structures. Chinese Academy of Building Research. [Text] / Tien T. Lan. – China: CRC Press, 2005. – 50 p.
7. Кузина, Е. С. Пространственная металлодеревянная конструкция с использованием клефанерных элементов [Текст] / Е. С. Кузина, А. А. Митрахович, Е. Г. Шестопалов // Вологодские чтения. – 2008. – № 70. – С. 33–36.
8. Коковихин, И. Ю. Алгоритм статического расчета металлической многоярусной однопролетной рамы как одна из задач оптимизации методами эволюционного моделирования [Текст] / И. Ю. Коковихин, А. В. Антипин // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2009. – № 1. – С. 66–68.
9. Абовская, С. Н. Большепролетные замкнутые полносборные здания для строительства на слабых грунтах в сейсмических зонах [Текст] / С. Н. Абовская, А. П. Деруга. – Красноярск : РФФИ-ККФН, 2003. – 17 с.
10. Lee, H. Y. Design and Construction of Sentosa Integrated Resort Developments in Singapore with Mega Steel Trusses using Chinese Structural Steels [Text] / H. Y. Lee, Z. X. Hou // Procedia Engineering. – 2011. – Volume 14. – P. 1089–1097.
11. Bouchair, A. Connection in Steel-Concrete Composite Truss [Text] / A. Bouchair, J. Bujnak, P. Duratna // Procedia Engineering. – 2012. – Volume 40. – P. 96–101.
12. Celikag, M. Building Construction in North Cyprus: Problems and Alternatives Solutions [Text] / M. Celikag, S. Naimi // Procedia Engineering. – 2011. – Volume 14. – P. 2269–2275.
13. Magdy, I. Salama. Estimation of period of vibration for concrete moment-resisting frame buildings [Text] / Magdy, I. Salama // HBRC Journal, Volume 11, Issue 1. – April 2015. – P. 16–21.
14. Bagheria, Saman. Heightwise Distribution of Stiffness Ratio for Optimum Seismic Design of Steel Frames with Metallic-Yielding Dampers [Text] / Saman Bagheria, Ali Hadidi, Alireza Alilou // Procedia Engineering. – 2011. – Volume 14. – P. 2891–2898.

15. Yishi, Liu. Building Guastavino dome in China: A historical survey of the dome of the Auditorium at Tsinghua University [Text] / Liu Yishi // Frontiers of Architectural Research. – Volume 3, Issue 2. – June 2014. – P. 121–140.

Получено 16.03.2015

О. В. ЯКУБА, А. В. ОВСЯННИКОВА, В. З. ВЕЛИЧКИН, И. С. ПТУХИН
ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ПЕРЕКРИТТЯ
ВЕЛИКОПРОГОНОВИХ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

Санкт-Петербурзький державний політехнічний університет

Потреба в швидкому зведенні промислових, спортивних великопрогонових споруд зростає з кожним роком. У зв'язку з цим інженер завжди повинен вміти швидко планувати майбутній конструктив будівлі. Важливу роль відіграє вибір перекриття. При плануванні необхідно не тільки враховувати всі фактори і грамотно розраховувати перекриття, але й одночасно прагнути до мінімізації витрат на будівництво. У даній статті розглядається витрата металу на кожне перекриття і визначається ефективність використання перекриття, враховуючи корисний об'єм будівлі. У статті розглянуто чотири види перекриттів. Залежно від прольоту знайдено обсяг металу, який використовується кожним перекриттям. Зроблено підрахунок об'єму простору, займаного будовою, при висоті 14 м і кроці 6 м. Враховуючи висоту перекриття, знайдено корисний об'єм споруди. Проведено порівняння перекриттів щодо витрат металу і порівняння щодо ефективності використання, враховуючи корисний об'єм споруди. Визначено найбільш економічне і найбільш ефективне перекриття.

будівельні конструкції, сталеві конструкції, великопрогонові споруди, перекриття, витрата матеріалу, ефективність використання матеріалу, економічне перекриття

OLGA YAKUBA, ALLA OVSYANNIKOVA, VIKTOR VELICHKIN,
IRINA PTUHINA
CHOOSING OF THE MOST ECONOMIC OVERLAP OF SPAN BUILDINGS AND
STRUCTURES

Saint-Petersburg Polytechnic University

The need for rapid construction of industrial, sports span structures is growing every year. In this regard, the engineer should always be able to quickly plan for future constructive building. The overlap has a great importance in the design of building. The engineer should correctly calculate the overlap. Furthermore, try to minimize construction costs. This article discusses the use of metal expended on each floor, and is determined by the efficiency of its use, taking into account the usable volume of the building. The article describes the four types of floors. Depending on the flight, the amount of metal that is used by each overlap has been found. Calculation of the volume of space occupied by the structure, with a height of 14 m and step of 6 m, has been done. Taking into account the height of ceilings, the useful volume facilities has been found. The comparison of overlaps according to the amount used of metal and comparison according to utilization efficiency, taking into account payload volume of constructions have been made. The most economical and most effective overlaps have been determined.

building construction, steel structures, large-span structures, overlap, material consumption, efficient use of materials, cost ceiling