

## **Применение большепролётных железобетонных стропильных балок в промышленном строительстве**

Глуховский А.Г.

(Научный руководитель – Латыш В.В.)

Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Беларусь

Железобетонные стропильные балки являются одним из основных видов несущих элементов плоскостных покрытий одноэтажных промышленных зданий. Наиболее распространены двускатные балки, перекрывающие обычно пролеты до 24 м при шаге 6 или 12 м. Причем при пролетах до 18 м балки покрытий как по расходу материалов, так и по трудоёмкости оказываются более экономичными, чем фермы. Поэтому при пролётах свыше 30 м стропильные балки в странах СНГ, как правило, не применяются. За рубежом для покрытий производственных цехов при отсутствии перепадов высот и при сравнительно небольшой снеговой нагрузке на покрытие с облегченными ограждающими конструкциями (например, мембранное покрытие либо стальной профилированный настил с утеплителем из пенополистирола) применяются балки пролетами 30...40 м, причем выполняются они малоуклонными (3...7 %). Как показала практика зарубежного проектирования, балки таких пролетов успешно конкурируют со стальными и железобетонными фермами.

В данной работе по результатам произведенного расчёта предлагается попытка сопоставления основных технико-экономических показателей большепролётных стропильных двускатных балок, используемых за рубежом, с типовыми решениями покрытий промышленных зданий, применяемыми в странах СНГ. Принимается конструктивное решение такой балки на основе принятых основных габаритных размеров из каталогов иностранных производителей сборных железобетонных конструкций. В работе представлена схема поперечного и продольного армирования балки, обеспечивающая выполнение требований по 1-й и 2-й группам предельных состояний, приведен вариант опирания конструкции на колонны, способ монтажа, отражены “проблемы” проектирования и конструирования с последующими решениями.

За основу для расчёта и сопоставления результатов была принята стропильная двускатная балка пролётом 30 м (SI-балка). Габарит-

ные размеры приняты из “Технического справочника и руководства по продукции концерна “Consolis” [1]. Концерн “Consolis” является крупнейшим производителем сборных железобетонных конструкций в Европе. В него входит более 50 заводов, и он предлагает свои услуги в 11 странах мира: Финляндии, Швеции, Норвегии, Германии, Нидерландах, Эстонии, России, Латвии, Литве, Чешской Республике и Польше. Ассортимент продукции “Consolis” включает в себя широкий выбор изделий из сборного железобетона, в том числе плиты перекрытий, колонны и стеновые панели и т.д.

Выбор конкретного типа SI-балки с определённой высотой в коньке был осуществлён по специальной диаграмме (рисунок 1) в зависимости от допустимой нагрузки на балку, которая определяется как сумма постоянной и переменной нагрузок, приходящихся на балку за исключением собственного веса конструкции.

SI-балки с меняющейся длиной особенно успешно применяются в качестве конструкций крыши зданий с большим свободным расстоянием между колоннами. Двутавровое сечение является типичным для преднапряженных балок. Уклон верхней грани балки составляет 1:16. В соответствии с [2] огнестойкость балок типа “SI” составляет до 120 минут. Ниже приводятся принятые размеры сечения и габариты балки (рисунок 1).

При пролёте 30 м и уклоне верхнего пояса 1:16 высота на опоре балки составляет 1000 мм, высота в коньке – 1935 мм (для сравнения в типовых сериях высота на опоре стропильных балок пролётом до 24 м составляет 800 или 900 мм).

В качестве материалов были приняты:

### ***Бетон***

– бетон тяжёлый повышенной прочности класса  $C^{50}/60$ .

Причём твердение конструкции происходит в естественных условиях без тепловой обработки, что может быть связано с возможными трудностями использования крупногабаритных пропарочных камер в заводских условиях.

Выбор бетона повышенной прочности обусловлен работой балки в приопорных зонах на срез при действии значительных поперечных сил, что связано с конструктивными особенностями SI-балки (отсутствие вута, постоянная по толщине стенка), что будет рассмотрено далее.

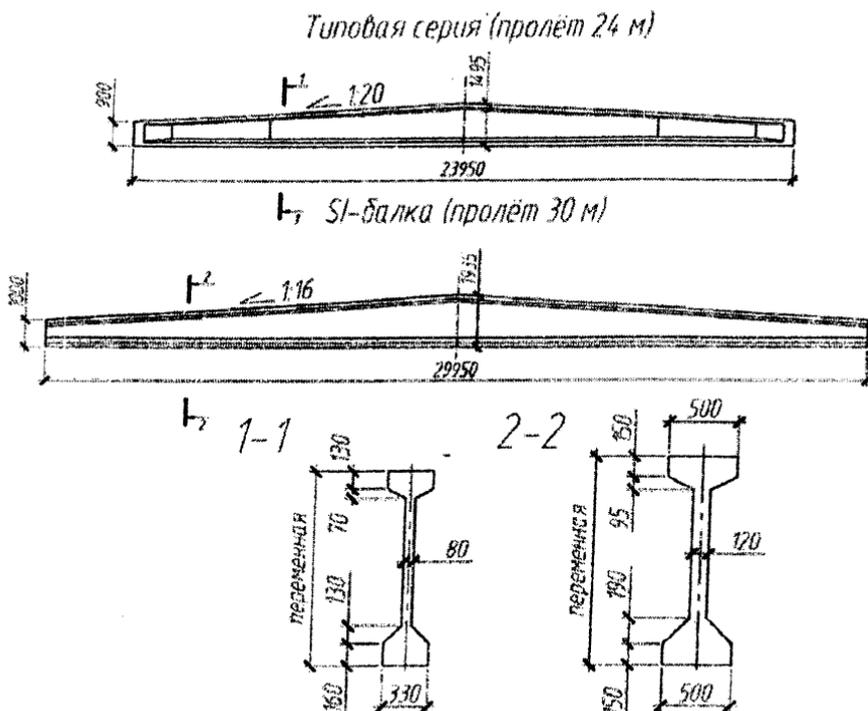


Рисунок 1. Геометрические параметры стропильных балок

### Арматура

– арматурные спиральные девятнадцатипроволочные канаты К-19 (1+9+9)  $\varnothing 14.2$  мм класса S1400 (ТУ 14-4-22).

По сравнению с аналогичными по применению семипроволочными канатами К-7, канаты К-19 обладают рядом преимуществ: большая гибкость каната при меньшем диаметре, что облегчает транспортировку арматуры и её заготовку; большая надёжность каната при обрыве одной проволоки (например, в результате коррозии) вследствие большего их количества, чем в канате К-7; более полное использование прочностных свойств более тонких проволочек арматуры, следовательно, экономичность дорогостоящей высокопрочной стали (информация взята из источника [3]).

При сборе нагрузок на балку с целью уменьшения внутренних усилий при достаточно большом пролёте в 30 м была принята

облегчённая конструкция кровли. В качестве гидроизоляционного ковра было использовано полимерное мембранное трёхслойное покрытие с механическим креплением к основанию (железобетонным ребристым плитам). В качестве утеплителя – пенополистирол. Расчётное значение постоянной нагрузки от такой облегчённой кровли составило всего 23,92 кН/м, что позволило существенно снизить пролётный изгибающий момент и поперечную силу в приопорной зоне.

Далее были составлены основные сочетания нагрузок и определены внутренние усилия в расчётных сечениях балки. За расчётные было принято 4 сечения (приопорная зона, место опирания первой от торца балки пары ребер плит покрытия, опасное сечение на расстоянии  $0,39 \cdot l_{eff}$ , середина пролёта).

В двускатной балке с уклоном верхнего пояса 1:16 площадь продольной напрягаемой арматуры рассчитывалась по усилиям, действующим в опасном сечении на расстоянии  $0,39 \cdot l_{eff}$  от опоры. При этом действительное сечение было заменено на эквивалентное.

Согласно СНБ 5.03.01-02 “Бетонные и железобетонные конструкции” [4] была назначена величина предварительного напряжения в арматуре. Далее из расчёта по 1-й группе предельных состояний (расчёта прочности сечений, нормальных к продольной оси элемента) было предварительно определено требуемое число арматурных канатов в сечении. По результатам расчёта для обеспечения требований 2-й группы предельных состояний было принято в качестве армирования 18 канатов К-19 Ø14.2 мм класса S1400, что на 39% превышает требуемое число канатов, полученное из расчёта по 1-й группе предельных состояний. Расположение канатов в нижнем поясе сечения балки показано на рисунке 2.

Далее был произведён расчёт потерь предварительного напряжения в канатах (суммарные потери составили 22,8%) и выполнен расчёт прочности сечений балки, нормальных и наклонных к продольной оси элемента в стадии эксплуатации, изготовления и монтажа. Произведён подбор поперечной арматуры для обеспечения прочности на действие поперечных сил, подбор продольной арматуры в верхнем поясе балки для обеспечения прочности нормальных сечений на стадии изготовления и монтажа (при учёте нагрузки от собственного веса балки).

Наибольший интерес при проектировании большепролётных балочных конструкций представляет расчёт по 2-й группе предельных состояний. Для обеспечения выполнения требований по ширине раскрытия трещин и предельному прогибу количество арматуры, определённое при расчёте по 1-й группе предельных состояний было увеличено на 39%.

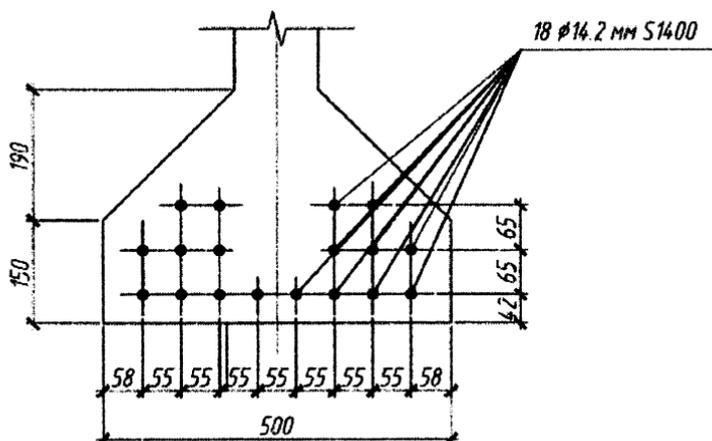


Рисунок 2. Расположение арматурных канатов в сечении балки

В предварительно напряжённых балках особое значение имеет конструирование приопорных участков (рисунок 3). Здесь происходит передача значительных усилий обжатия с арматуры на бетон в зоне её анкеровки. Основной отличительной конструктивной особенностью рассматриваемой СИ-балки от типовой является отсутствие вута (местного утолщения) в приопорной зоне. В связи с этим возникают трудности в усилении балки в зоне анкеровки напрягаемой арматуры для предотвращения образования продольных трещин, раскрывающихся по торцу элемента, а также проскальзывания напряжённой арматуры. Местное усиление следует производить с помощью дополнительных сеток косвенного армирования, которые необходимо расположить в нижнем поясе балки на участке анкеровки. Отсутствие вута значительно ограничивает пространство для размещения вспомогательных сеток. В связи с этим в качестве вспомогательной арматуры использовались составные сетки, через

ицейки которой пропускались преднапряженные канаты. Также были использованы хомуты, охватывающие все продольные стержни, и учащенный шаг поперечных стержней. Принятая схема армирования создала “ядро” с заключёнными в него арматурными канатами, обеспечивающее надёжную анкеровку.

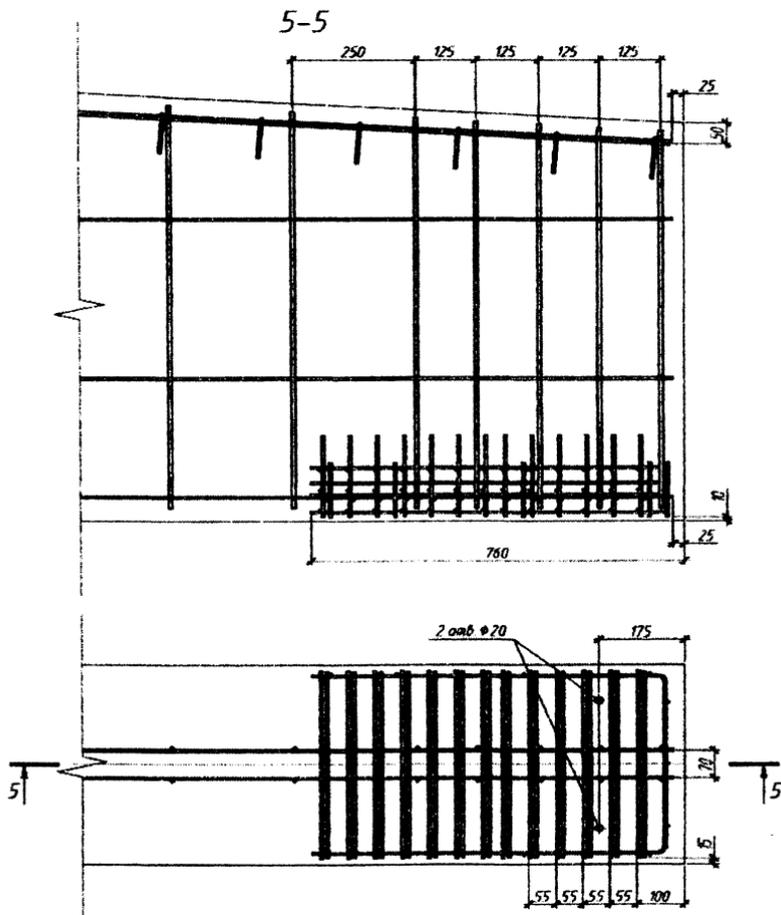


Рисунок 3. Опорный узел стропильной балки

Опираие балки осуществляется на эластомерные опорные прокладки из неопреновой резины с целью обеспечения равномерного распределения напряжения по всей контактной поверхности. При-

веденная опорная длина определяется на основе предельного напряжения смятия как в сопряженных частях, так и в опорных прокладках, с учетом допусков и риска откалывания на краях. Прокладки необходимо установить на некоторое расстояние от края опоры, так как передача нагрузки на края может вызвать повреждение. Прокладка должна допускать такой прогиб балки, чтобы избежать прямого контакта между балкой и краем опоры. Крепление балки к колонне осуществляется на анкерных болтах.

Монтаж SI-балки производится двумя монтажными стреловыми кранами, располагающимися в пролёте. Крепление строповочных приспособлений осуществляется за 2 монтажные петли, расположенные на расстоянии 2 м от торцов балки с каждой стороны.

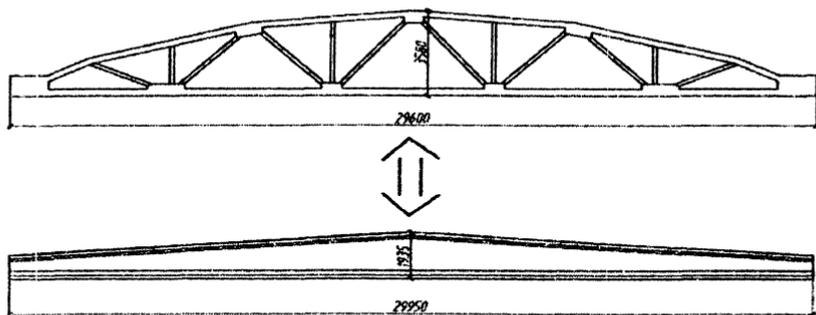
Для сравнения материалозатрат примем сегментную раскосную преднапряжённую ферму ФСМ 30Ш-1 Серии ПК 01-129/68 пролётом 30 м.

По результатам расчёта и конструирования SI-балки величины материалозатрат бетона и арматуры представим в таблице 1 в сравнении с материалозатратами, приходящимися на одну ферму.

Таблица 1

Сравнение расхода материала на одну конструкцию

Конструкция	Расход стали, кг	Расход бетона, м <sup>3</sup>	Вес, т
SI-балка	1119,2	9,6	25,1
Раскосная ферма	1320,1	10,2	26,7



Таким образом, в данной работе было аргументировано показана возможность и целесообразность применения СИ-балок в промышленном строительстве при покрытии значительных пролётов свыше 30 м. Причём в каталогах продукции концерна “Consolis” имеются балки пролётами 36 м. Были отражены основные решения армирования при использовании высокопрочных материалов, представлен способ опирания и монтажа конструкции. Также мы убедились в том, что балки вполне способны конкурировать с железобетонными фермами при покрытии пролётов свыше 24 м, обеспечивая меньшую трудоёмкость при изготовлении, транспортировке и монтаже.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Технический справочник и руководство по продукции концерна “Consolis” (сайт [www.consolis.com](http://www.consolis.com)).
2. EN 1992-1-2 "Eurocode 2 (Еврокод 2): Проектирование бетонных конструкций – Часть 1.2 Общие правила – Проектирование противопожарных конструкций".
3. СНБ 5.03.01 – 02. Бетонные и железобетонные конструкции/ Маис, Мн., 2003. – 140 с. с изменениями 1...5.
4. Сравнение арматурных канатов класса К1400 К-7 и К-19 // Белорусская строительная газета. – 2011. – 01.07.
5. Проектирование железобетонных конструкций: справочное пособие / А.Б. Гольшев и др. – 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Будивельник, 1990 – 544 с.