

УДК 624.074.434, 624.016

В. В. Веселов, А. О. Першина

Проектирование комбинированного седловидного покрытия

Веселов Виталий Владиславович — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения»

Першина Анжела Олеговна — студент 2-го курса кафедры «Строительные конструкции, здания и сооружения»

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В статье представлено описание проектируемой большепролетной пространственной седловидной конструкции покрытия с применением сталежелезобетона в сечениях основных несущих элементов — арок. Дана информация о предлагаемых конструктивных решениях, способствующих снижению материалоемкости покрытия, представлены результаты предварительных расчетов покрытия, выполненные в двух вариантах для сравнительной оценки материалоемкости.

Ключевые слова: сталежелезобетон, пространственные покрытия, комбинированные конструкции, арочные покрытия, вантовые покрытия

С целью снижения стоимости строительства в настоящее время постоянно ведется поиск новых материалов, способов расчета и проектирования каркасов зданий, особенно для большепролетных сооружений.

Чаще всего в большепролетных каркасах применяются металлические конструкции, в том числе пространственные [1]. Однако металлоконструкции имеют ряд недостатков: дороговизна, повышенные деформации, а также повреждения в процессе эксплуатации (погиби, коррозия, потеря устойчивости и т. п.). Поэтому одним из рациональных подходов к проектированию с точки зрения экономии материала с повышением жесткости и надежности является применение сталебетонных конструкций [2, 3], в том числе с использованием преднапряженных элементов, позволяющих регулировать усилия в сечениях, что дополнительно способствует снижению материалоемкости каркаса.

В рамках данной работы, являющейся темой магистерской диссертации, рассматривается сталебетонная предварительно-напряженная конструкция пространственного покрытия сооружения, которая состоит из ряда сталебетонных арок с увеличивающимися стрелами подъема к торцам сооружения и жестких вант, расположенных вдоль сооружения (рис. 1).

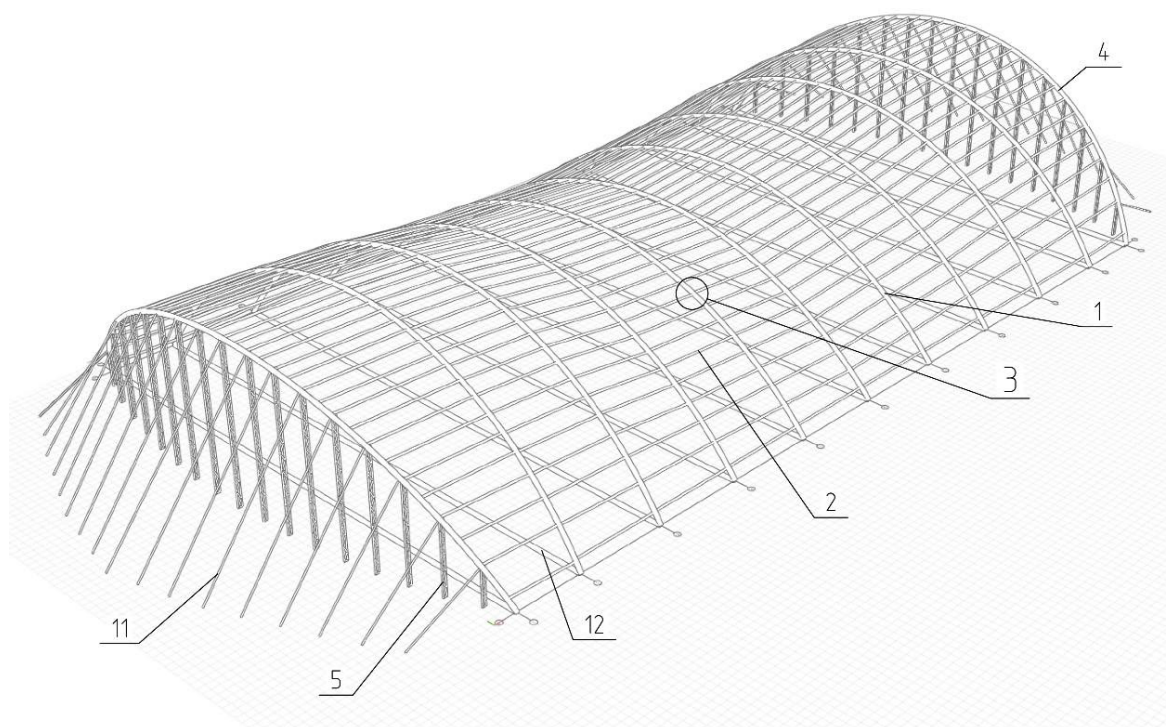


Рис. 1. Общий вид каркаса здания с комбинированным седловидным пространственным покрытием: 1 — сталебетонная арка; 2 — жесткий вант; 3 — узел сопряжения арки и ванта; 4 — торцевая сталебетонная арка; 5 — стойка фахверка; 11 — оттяжка; 12 — затяжка

Арки и ванты совместно образуют пространственную конструкцию покрытия отрицательной гауссовой кривизны. Арки в торцах сооружения расположены с наклоном наружу и имеют опоры в виде стоек фахверка. Поперечное сечение арок принято сквозным, состоящим из трех трубчатых поясов: внешнего, заполненного бетоном, и двух внутренних, объединенных раскосами и стойками. Для восприятия распора в опорных узлах арок установлена жесткая затяжка из двутавра. К внешнему поясу торцевых арок закреплены предварительно-напряженные оттяжки (рис. 2). При этом арки в зоне примыкания предварительно-напряженных жестких вант имеют опоры для удобства монтажа и крепления элементов (рис. 3).

Использование предварительно-напряженных жестких вант из стальных двутавров дает возможность разгрузить арки от приложенных внешних воздействий, рационально перераспределить нагрузки на арки в торцах сооружения.

Использование стоек фахверка под арками в торцах сооружения позволяет увеличить жесткость и несущую способность сталебетонных арок от приложенных внешних воздействий.

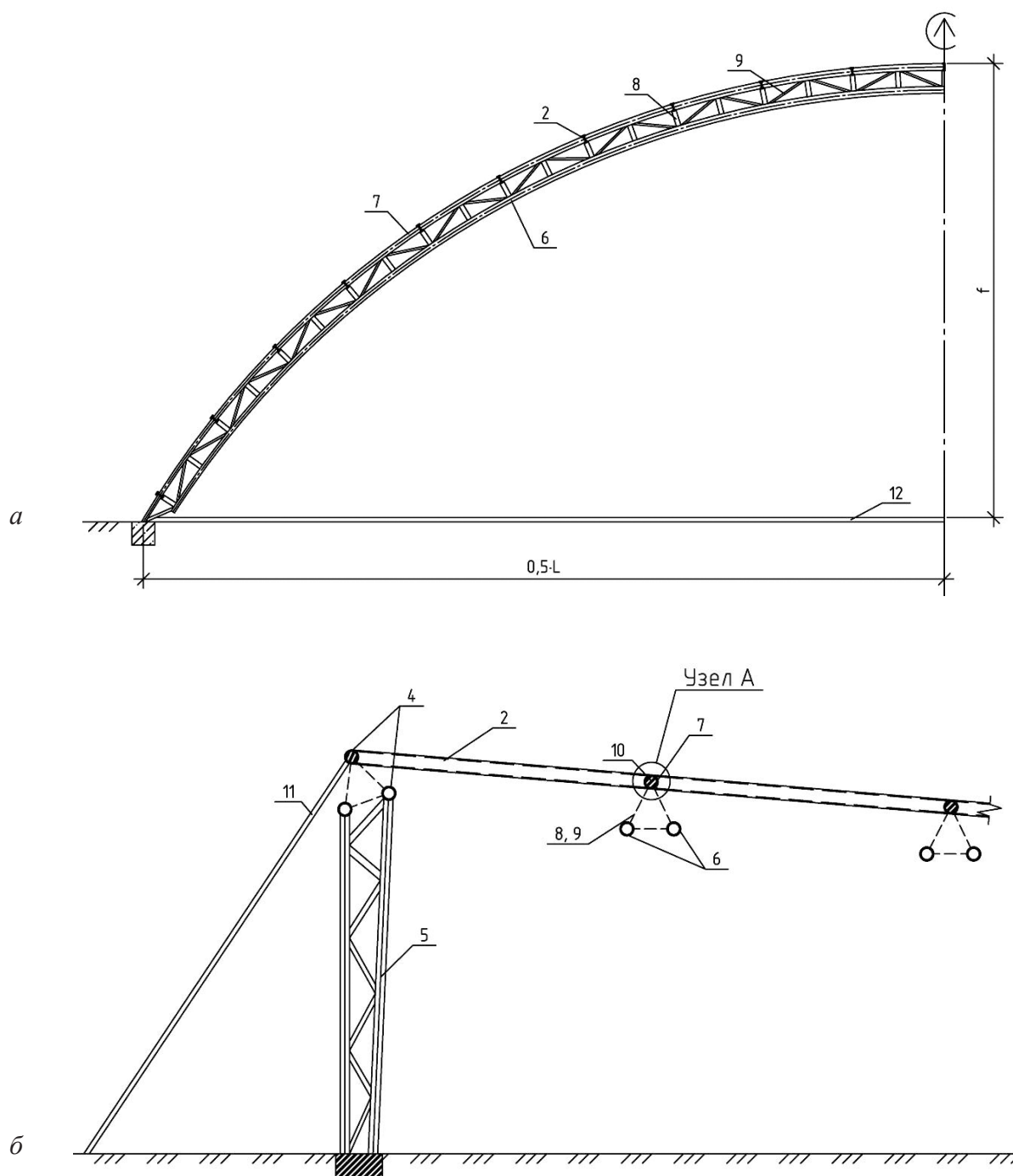


Рис. 2. Поперечные сечения по каркасу здания с комбинированным седловидным пространственным покрытием:

- a* — фрагмент поперечного сечения; *б* — фрагмент продольного сечения.
 2 — жесткий вант; 4 — торцевая сталебетонная арка; 5 — стойка фахверка;
 6 — внутренний пояс арки; 7 — внешний пояс арки; 8 — раскос решетки арки;
 9 — стойка решетки арки; 10 — бетон; 11 — оттяжка; 12 — затяжка

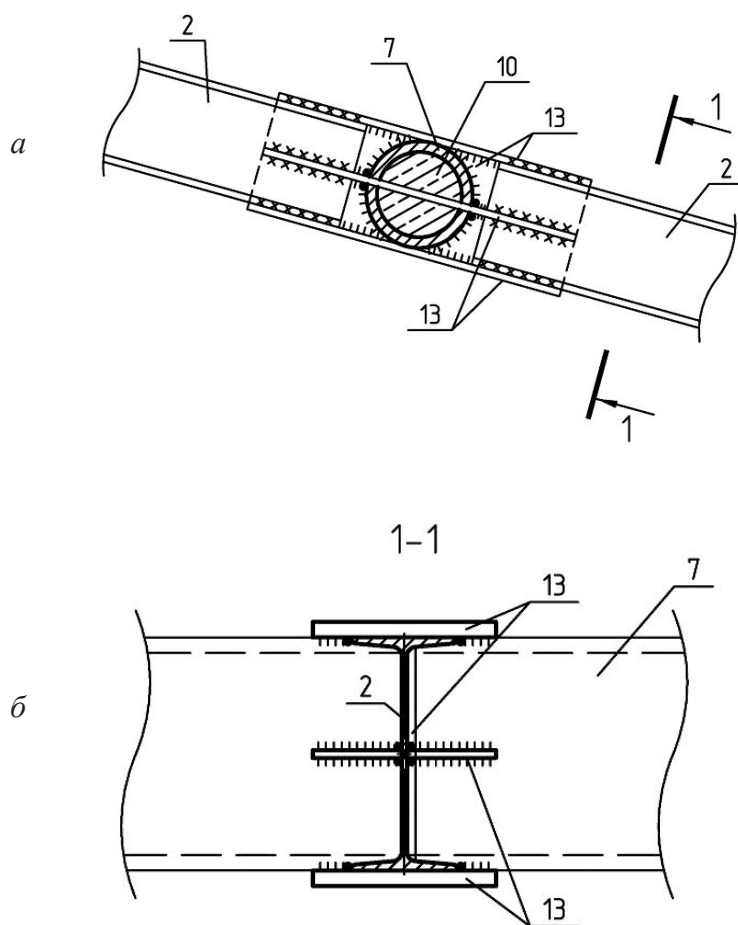


Рис. 3. Узел сопряжения сталебетонной арки и вант (узел А):

а — общий вид узла; *б* — сечение 1-1.

1 — сталебетонная арка; 2 — жесткий вант; 7 — внешний пояс арки;
10 — бетон; 13 — опорный столик

Расположение арок в торцах сооружения с наклоном наружу, а также использование предварительно-напряженных оттяжек в виде канатов, закрепленных к верхнему поясу крайних арок, обеспечивает эффективное восприятие распора от примыкающих жестких вант.

Использование внутренних поясов арок со стойками и раскосами дает возможность повысить жесткость арок в горизонтальном направлении, а также снизить гибкость и не использовать для обеспечения устойчивости внутренних поясов дополнительные распорки. Применение стальных труб для поясов, стоек и раскосов арок снижает гибкость элементов, увеличивает их изгибную жесткость и устойчивость.

Внешние пояса арок, заполненные бетоном, обладают повышенной несущей способностью на внешние воздействия, а также местной устойчивостью стенок стальной

трубы. Использование предварительно-напряженных затяжек, соединяющих арки в опорных частях, дает возможность рационально воспринимать распор от арок. Бетонное заполнение в замкнутом контуре поясов арок из стальных труб имеет повышенную прочность, трещиностойкость и практически не имеет усадки.

Жесткие ванты, оттяжки и затяжки, имеющие предварительное напряжение, обеспечивают регулирование усилий в основных элементах покрытия: сталебетонных арках и жестких вантах.

Все приведенные выше конструктивные мероприятия способствуют уменьшению расхода стали и снижению материалоемкости покрытия при обеспечении эксплуатационных требований в сравнении с известными аналогами [4]. На разработанное изобретение был оформлен патент от 4 февраля 2025 года № 2844973 «Комбинированное седловидное покрытие» [5].

Как правило, для металлических пространственных каркасов характерен расход стали 80–120 кг/м² в зависимости от вида конструкции и прикладываемых нагрузок. С целью оценки эффективности сталебетонной конструкции с точки зрения экономии металла расчет пространственного покрытия выполнен в двух вариантах с одинаковыми исходными данными и элементами: для покрытия в металлическом исполнении и покрытия с применением сталебетона в сечении поясов арки.

Статический расчет выполнен в программно-вычислительном комплексе SCAD по действующим нормативным документам [6, 7]. Выполнение расчетов таких конструкций осуществляется индивидуально, а именно требуется анализ распределения аэродинамических коэффициентов по ограждающим поверхностям при определении ветровых воздействий.

В качестве исходных данных в расчете сооружения в металлическом исполнении принято: город строительства — Санкт-Петербург, длина покрытия — 114 м, пролет — 70 м, шаг арок — 12 м для рядовых арок и 9 м для торцевых наклонных арок, стрела подъема арки — от 15 м до 22 м, наклон торцевой арки наружу — 20°, шаг ванта — от 2 до 3,1 м. Высота сквозного сечения арок — 3 м, профиль поясов арок — трубы круглые 325 × 20 по ГОСТ 57837-2017, поперечное сечение вант — двутавр 40Ш1 по ГОСТ 57837-2017, оттяжек — стальные канаты 15 К7 по ГОСТ 13840-68, затяжек — двутавр 60Ш2 по ГОСТ 54157-2010.

Исходные данные для расчета второго варианта покрытия с применением сталебетона идентичны данным первого варианта, кроме сечения пояса арок: профиль поясов арок — трубы круглые 325 × 10 по ГОСТ 57837-2017, внешний пояс заполнен бетоном В30.

В результате выполнения расчетов получены следующие данные о расходе стали для двух вариантов покрытий:

- расход стали на каркас в металлическом исполнении составил 1176,93 т, расход стали на 1 м² сооружения — 147 кг/м², вертикальные перемещения в конструкции от нормативных нагрузок — 58,53 мм;
- расход стали на каркас сооружения с применением сталебетона составил 991,01 т, расход стали на 1 м² сооружения — 124 кг/м², вертикальные перемещения в конструкции от нормативных нагрузок — 53,59 мм.

Таким образом, пространственная конструкция покрытия с применением сталебетона имеет сниженный на 16 % расход стали при повышении жесткости на 8 % в сравнении с аналогичным покрытием в металлическом исполнении.

В дальнейшем при проектировании покрытия сооружения предстоит работа с оптимизацией принятых характеристик материалов и с подбором учитываемого преднапряжения в элементах оттяжек, затяжек и вант с целью подбора еще более экономичных по расходу стали сечений пространственного покрытия, а также работа над проектированием опорных узлов покрытия и узлов соединения элементов между собой.

Список источников

1. Веселов В. В., Понамарева К. Н. Анализ и совершенствование конструктивных решений большепролетных покрытий ледовых дворцов и катков // Инновационные технологии в строительстве и геоэкологии: материалы конференции. 2018. С. 70–73.
2. Кикин А. И., Санжаровский Р. С., Труль В. А. Конструкции из стальных труб, заполненных бетоном. М.: Стройиздат, 1974.
3. Талантова К. В., Веселов В. В. Современные гибридные строительные конструкции // Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения: материалы Международных академических чтений (Курск, 18 ноября 2020 года) / под ред. проф. С. И. Меркулова. Министерство науки и высшего образования РФ, Курский государственный университет. Курск: Университетская книга, 2020. С. 46–55.
4. Висячее седловидное покрытие: патент № SU 222642 A1, МПК E04B 7/14. № 1154576/29-14 / Москалев Н. С.; заявл. 16.05.1967; опубл. 16.10.1968.
5. Комбинированное седловидное покрытие: патент № 2844973 C1 Российская Федерация, МПК E04B 7/10, E04B 7/14 / Веселов В. В., Першина А. О.; заявитель Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I; заявл. 04.02.2025; опубл. 12.08.2025.
6. СП 16.13330.2017. Стальные конструкции.
7. СП 266.1325800.2016. Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования.

V. V. Veselov, A. O. Pershina

Designing of a Combined Saddle-Shaped Structure

Veselov Vitalij Vladislavovich — PhD in Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Department “Structural Constructions, Buildings, Structures”

Pershina Anzhela Olegovna — 2nd-Year Student of the Department “Structural Constructions, Buildings, Structures”

Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Saint Petersburg, Russia

Abstract. The article provides a description of a projected large-span spatial saddle-shaped roof structure using steel-reinforced concrete in the cross-sections of the main load-bearing elements, such as arches. The article also provides information about the proposed design solutions that help reduce the material consumption of the roof, and presents the results of preliminary calculations of the roof in two different versions for a comparative assessment of material consumption.

Keywords: steel-reinforced concrete, spatial coatings, combined structures, arched coatings, cable-stayed coatings

УДК 624.131

А. С. Волобуева, Т. Б. Иванская

Исследование свойств глинистых грунтов как основания фундаментов

Волобуева Александра Сергеевна — студент 1-го курса кафедры «Транспортное строительство»

Иванская Татьяна Борисовна — кандидат геолого-минералогических наук, старший преподаватель кафедры «Основания и фундаменты»

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I

Аннотация. В статье рассмотрены четвертичные и коренные глинистые грунты Санкт-Петербурга и Ленинградской области, которые могут служить основанием зданий и сооружений. Выполнены испытания грунтов на набухание с использованием прибора свободного набухания. Проведен сравнительный анализ свойств глинистых грунтов.

Ключевые слова: глинистые грунты, набухание, микулинские суглинки, нижекомбрийские глины, фундаменты