

Н.М. Кирсанов

Висячие и вантовые конструкции

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 528
ББК 38.2
Н11

Н11 **Н.М. Кирсанов**
Висячие и вантовые конструкции / Н.М. Кирсанов – М.: Книга по Требованию, 2024. – 157 с.

ISBN 978-5-458-29962-6

Представлены конструктивные решения висячих и вантовых покрытий общественных и производственных зданий, а также конструкции воздушных подвесных переходов трубопроводов и легких висячих мостов. Даны основные разрезы и планы сооружений, конструкции наиболее важных узлов и элементов. Приведены сведения по расходу материалов, трудозатратам, способам монтажа и расчету конструкций.

ISBN 978-5-458-29962-6

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2024
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2024

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первоизданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

Раздел 1

ОДНОПОЯСНЫЕ ВИСЯЧИЕ ПОКРЫТИЯ, СТАБИЛИЗАЦИЯ КОТОРЫХ ДОСТИГАЕТСЯ ЗА СЧЕТ МАССЫ НАСТИЛА И ЕГО ОМОНОЛИЧИВАНИЯ

Рассмотрим следующие разновидности таких покрытий.

1. Цилиндрические покрытия с расположением гибких нитей вдоль криволинейных образующих. В качестве расчетной схемы сооружений на стадии монтажа и при работе покрытия в предельном состоянии может быть принята плоская гибкая нить. Небольшая кривизна покрытия, которая создается в направлении, перпендикулярном несущим нитям, может не учитываться, так как в этом направлении работа элементов покрытия, как правило, не обеспечивается.

2. Параболоидные покрытия в форме перевернутого купола с радиальным расположением несущих нитей или с применением сеток. Расчетная схема радиальных покрытий при равномерных воздействиях по пролету в первом приближении также может быть принята в виде плоских нитей, но с распределением нагрузок по длине пролета в виде двух трапеций или двух треугольников.

3. Покрытия шатрового типа с опиранием на центральную стойку или на диагональные элементы. Несмотря на то, что такие покрытия имеют форму гиперболического параболоида, расчетная схема их может быть также представлена в виде плоской нити, так как в ортогональных элементах не создается предельное напряжение.

КОМПОНОВОЧНЫЙ РАСЧЕТ ГИБКИХ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

При проектировании висячих конструкций, как и для любых других строительных конструкций, следует различать две стадии расчетов: 1) компоновочные расчеты, связанные с выбором генеральных размеров сооружения и сечений его несущих элементов, а также с оценкой вариантов. Эти расчеты, как правило, основываются на упрощенных расчетных схемах и могут выполняться приближенными способами; 2) проверочные расчеты, которые производятся точными методами строительной механики с наибольшей степенью соответствия расчетной схеме сооружения его действительной работе. Методам точного расчета висячих конструкций посвящена специальная литература. Рассмотрим способы компоновоч-

ных расчетов висячих конструкций в виде гибкой нити.

Несущие элементы в настоящее время выполняются из высокопрочных сталей, поэтому в качестве расчетного предельного состояния при подборе сечения нити следует принять расчетное состояние второй группы — расчет по деформациям.

Упругие дополнительные провесы (прогибы) нити в середине пролета при действии равномерно распределенных нагрузок определяются по известной приближенной формуле [22, 37]

$$\frac{\Delta f}{l} = \frac{3}{128} \cdot \frac{p^n l^2}{E_K F_K} \cdot \frac{L}{f^2} \quad (1)$$

где p^n — нормативная временная нагрузка на 1 м пролета нити; l — пролет нити; E_K — модуль упругости нити (кабель — $1,6 \cdot 10^4$ кН/см², прокат — $2,1 \cdot 10^4$ кН/см²);

F_K — искомая площадь сечения нити; $\frac{\Delta f}{l}$ — предельный

дополнительный провес для неомоноличенного покрытия, который можно допустить $1/200$ — $1/300$ при последующем омоноличивании конструкции; L — приведенная длина нити с учетом длины оттяжек (если распор передается на внешние анкеры);

$$L = l \left(1 + 8 \frac{f^2}{l^2} \right) + 2l_{от} \sec^2 \theta, \quad (2)$$

где $l_{от}$ — горизонтальная проекция оттяжки, соединяющей вершину пилона с анкером; θ — угол наклона оттяжки к горизонту; f — стрела провисания несущей нити.

Стрела провисания назначается по архитектурным, конструктивным и экономическим соображениям. Наибольшая стрела, исходя из равенства упругих прогибов в середине пролета и кинематических перемещений в четверти при загрузении половины пролета принимается для кабеля $1/15l$, для проката — $1/30l$. Для систем повышенной жесткости, имеющих прогибы в четверти пролета меньше, чем у обычных систем, эти пределы могут быть увеличены до $1/10l$ и $1/20l$. Полученное сечение нити должно быть проверено на прочность и в случае невыполнения условия проверки сечение должно быть увеличено.

$$\sigma_K = \frac{(q \pm p) l^2}{8fF_K} \left(1 + \frac{8f^2}{l^2} \right) \leq R_K, \quad (3)$$

где q , p — расчетные постоянные и временная нагрузки на 1 м нити; R_K — расчетное сопротивление нити. Для проката — это расчетное сопротивление стали; для кабеля принимается

$$R_K = (0,5 - 0,6) \sigma_{вр}, \quad (4)$$

где $\sigma_{ар}$ — временное сопротивление кабеля разрыву по ГОСТу.

При расчете круглых и эллиптических в плане покрытий с радиальным расположением нитей принимается, что равномерная нагрузка на покрытие действует на каждую нить в виде двух симметрично расположенных на пролете треугольников с наибольшими ординатами на опорах и нулем в середине пролета. Для такой нагрузки правая часть формулы (1) должна быть умножена на $1/4$, а в формуле (3) вместо цифры 8 в знаменателе принимается 24, где q , p — нагрузки на опоре.

Приближенный расчет нитей с опорами на разных уровнях возможен по данным формулам, если стрелу f отсчитывать по вертикали от линии, соединяющей опоры нити, а пролет нити — по горизонтали, т. е. как расстояние между проекциями опор на горизонталь, нагрузки p , q следует принимать на горизонтальную проекцию нити, т. е. если задана нагрузка p_1 по длине наклонной прямой, соединяющей опоры, а α — угол наклона этой линии к горизонту, то $p = p_1 / \cos \alpha$.

Точные способы расчета гибких нитей см. [17, 31].

КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ОДНОПОЯСНЫХ ВИСЯЧИХ ПОКРЫТИЙ, СТАБИЛИЗАЦИЯ КОТОРЫХ ДОСТИГАЕТСЯ ЗА СЧЕТ МАССЫ И ОМОНОЛИЧИВАНИЯ НАСТИЛА

1.1.* КРЫТЫЙ РЫНОК В КИЕВЕ (РИС. 2—5)

Конструктивная схема покрытия рынка по ул. Верхний Вал в Киеве представляет собой висячую цилиндрическую оболочку, каждая несущая нить которой выполнена из двух стальных стержней диаметром 40 мм. Шаг несущих нитей 2 м, они передают распор на бортовые элементы, наибольший момент инерции которых совпадает с направлением усилий от нитей. Стрела провеса нитей меняется по длине здания за счет изменения угла наклона концов нитей в бортовых элементах. Затем распор передается на наклонные пилоны и вертикальные оттяжки, выполненные из полос универсальной стали.

Прокатная сталь для несущих нитей и оттяжек принята вместо тросов с целью уменьшения продольных удлинений несущих элементов, а следовательно, для уменьшения дополнительных провесов (прогибов) в середине пролета при загрузке временной на-

грузкой всего пролета. Данная схема опорных конструкций позволяет избавиться от традиционных наклонных оттяжек, а следовательно, от нерационального использования площади застройки. На наклонных пилонах расположены антресоли, создающие противовес распору.

Вторая особенность покрытия — устройство концевых закреплений несущих нитей, которые закладываются в вилкообразную плиту, и усилия от них на плиту передаются через анкерные коротыши, приваренные к нитям. Регулирование длины нити может быть достигнуто с помощью закладных шайб. Такая конструкция концевого крепления весьма экономична — строительный коэффициент нити данной конструкции составляет 1,05—1,1, тогда как для тросов — 1,4—1,6 [20]. Расход стали на 1 м^2 покрытия 42,3 кг, бетона 18,5 см. Проект крытого рынка выполнен КиевЗНИИЭП.

1.2. КОНЦЕРТНЫЙ ЗАЛ В ЛАГЕРЕ «СПУТНИК» В СОЧИ (РИС. 6, 7)

В Сочи построено несколько зданий с висячими покрытиями, в которых в качестве несущих нитей использованы часто расположенные арматурные стержни небольшого диаметра (12—16 мм). На нити уложены железобетонные плиты, омоноличенные при загрузке покрытия балластной нагрузкой [5].

В покрытии концертного зала молодежного лагеря «Спутник» распор от несущих нитей передается с одной стороны на монолитную железобетонную плиту, а с другой — на торцовые поперечные балки, передающие усилия на контрфорсные колонны, имеющие наклон наружу. Расход на 1 м^2 металла 35,8 кг, бетона 15,4 см.

Проект концертного зала выполнен в институте Южгипрокоммунстрой (Сочи).

1.3. БАУМАНСКИЙ РЫНОК В МОСКВЕ (РИС. 8—14)

В 1977 г. в Москве закончено строительство крытого рынка на 560 мест. Покрытие осуществлено в виде висячей однопоясной круглой в плане оболочки положительной гауссовой кривизны с радиальным расположением тросов, сборно-монолитным железобетонным наружным и металлическим внутренним кольцами.

В здании применены наклонные наружу колонны, поддерживающие кольцо и антресоли. Наклон колонн позволяет разгрузить элементы, воспринимающие распор, применить растянутые фахверковые подвески вместо сжатых стоек.

* Здесь и далее двойными цифрами (1.1, 1.2 и т. д.) обозначены порядковые номера схем, указанные на рисунках.

Положительным является использование коробчатого железобетонного сборного кольца, которое во время монтажа покрытия воспринимает усилия от постоянной нагрузки, а затем армируется и заполняется бетоном внутренняя полость кольца. Эксплуатационные нагрузки воспринимаются жестким кольцом полного сечения. Омоноличиваются также шарниры в узлах сопряжения кольца с колоннами. Для заполнения стыков между плитами использован расширяющийся бетон. Четыре трубы, отводящие воду с середины покрытия, используются для размещения на них осветительной арматуры.

Проект крытого рынка разработан институтом Моспроект, главный инженер проекта Н. В. Канчели [14].

1.4. АВТОБУСНЫЙ ГАРАЖ В НОВГОРОДЕ (РИС. 15—19)

Шатровое висячее покрытие автобусного гаража на 300 машин имеет среднюю стойку, на которую опирается внутреннее металлическое кольцо и закрепляются несущие нити из прокатной стали диаметром 40 мм.

Введение шарнира в среднее сечение стойки хоть и потребовало больших затрат литой стали, но позволило избавиться от изгибающих моментов в стойке и сбалансировать усилия в нитях при несимметричном нагружении покрытия. Рационально решено сборно-молитное наружное кольцо, где в качестве элементов кольца использованы сборные плиты покрытия кольцевого помещения шириной 9 м. В проекте увеличена жесткость арматурных крюков, выпускаемых из плит для навески на нити, для чего к крюку приварены выпуски верхней арматуры плиты.

Проект автобусного гаража разработан институтом Ленпромстройпроект.

1.5. УНИВЕРСАЛЬНЫЙ СПОРТИВНЫЙ ЗАЛ НА 5 ТЫС. МЕСТ В ИЗМАЙЛОВЕ, МОСКВА (РИС. 20—23)

Здание спортивного зала на 5 тыс. зрителей (66×72 м) перекрыто мембраной толщиной 2 мм, выполненной из нержавеющей стали. Мембрана загружена утеплителем и кровельным ковром. Она подвешена к диагональным стальным полосам, которые крепятся в углах к обвязочной раме. Нагрузка от мембраны на обвязочные элементы передается только в углах, поэтому прямоугольная рама испытывает лишь сжатие без горизонтального изгиба. Монтаж покрытия осуществлен путем подъема домкратами концов диагональных полос по направляющим, которые расположены на угловых колоннах [14].

С покрытия организован сбор дождевой воды к боковым воронкам благодаря перепаду высот от углов к центру покрытия и от центра к середине каждой стороны.

Расход металла составил 58 кг на 1 м² покрытия.

Проект спортивного зала выполнен в институтах Союзспортпроект и ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко под руководством К. Н. Илленико и В. И. Трофимова.

1.6—1.14. ОБЗОР КОМПОНОВОЧНЫХ СХЕМ ОДНОПОЯСНЫХ ПОКРЫТИЙ, СТАБИЛИЗАЦИЯ КОТОРЫХ ДОСТИГАЕТСЯ ЗА СЧЕТ МАССЫ НАСТИЛА И ЕГО ОМОНОЛИЧИВАНИЯ (РИС. 24)

1.6. Висячее покрытие над автобусным гаражом в Красноярске. Цилиндрическое покрытие пролетом 78 м и длиной 84 м имеет стрелу провеса 6,8 м. Железобетонный настил опирается на нити из круглого проката, расположенные с шагом 1,5 м. Настил омоноличен при загрузке покрытия балластом. Для уменьшения упругих деформаций боковые оттяжки выполнены из предварительно напряженных железобетонных элементов. Расход стали на 1 м² здания составил 36 кг, приведенная толщина бетона 23 см [20].

1.7. Висячая оболочка на эллиптическом контуре. Во Владивостоке для покрытия над кинотеатром «Океан» применена висячая оболочка на овальном плане. Несущие стальные канаты расположены с постоянным угловым шагом в 5°. Для обеспечения плавной поверхности оболочки использованы треугольные плиты. В центре покрытия имеется стальное растянутое кольцо, наружный контур выполнен из монолитного железобетона. Имеется подвесной потолок.

Расход стали на 1 м² покрытия 14,8 кг, бетона 4,2 см [35].

1.8. Висячее покрытие с несущими элементами из прокатной стали. Применение полосовой стали в покрытиях малых пролетов позволяет увеличить общую жесткость сооружений и упростить конструкцию узлов опирания настила на нити, использовать с этой целью стандартные железобетонные плиты. Большая масса плит обеспечивает стабилизацию покрытия при несимметричных снеговых и ветровых нагрузках. По результатам экспериментального исследования такого покрытия оно не нуждается в предварительном напряжении. При пролете 36 м расход металла составил 21,8 кг/м² [21].

1.9. Сетчатое покрытие над выставочным залом. В г. Оклахома-Сити (США) возведено покрытие в форме эллиптического параболо-

ида размером $122 \times 97,5$ м с сеткой несущих тросов $3,05 \times 3,05$ м. В качестве настила использованы легкобетонные плиты, что позволило уменьшить стрелу провеса оболочки до $1/20$ — $1/24$ пролета. Предварительное напряжение системы выполнено в несколько этапов. Вначале тросы и внешний контур воспринимали массу плит. После омоноличивания стыков в работу была включена предварительно напряженная оболочка — железобетонный настил, постоянно сжатый по торцам [44].

1.10. Круглое производственное здание с подвесными кранами. Стабилизация покрытия в виде стальной конической мембраны толщиной 4 мм, построенного в Австрии, достигается с помощью специального бетонного балласта в центре оболочки.

Радиальные краны, подвешенные одним концом в центре покрытия, а другим — опирающиеся на кольцевую подкрановую балку, имеют грузоподъемность 10 т. Сборка, выверка и сварка мембраны были выполнены в проектном положении, причем в качестве поддерживающей конструкции использована система монтажных вант. Оболочка усилена радиальными ребрами, снизу на нее нанесен с помощью набрызга утеплитель — асбестовая крошка, а сверху — антикоррозионная защита. Расход металла — 48,2 кг на 1 м^2 пола [34, 58].

1.11. Мембранные покрытия из переплетенных лент. Висячие оболочки двойной кривизны могут быть получены путем плетения из алюминиевых лент [58]. Плетение выполняется на земле с последующим подъемом мембраны на проектный уровень. Под действием собственной массы лент, утеплителя, армированной цементной стяжки и рулонного ковра покрытие принимает заданную стрелу провисания. С помощью несложных технологических приемов можно получить практически любую стрелу провеса мембраны. Для увеличения жесткости покрытия возможно также омоноличивание плитного утеплителя цементным раствором. Рекомендуется увеличивать собственную массу покрытия до такой величины, чтобы она была не менее интенсивности временных нагрузок. В этом случае кинематические перемещения имеют минимальное значение и не вы-

зывают расстройство кровли. Стоимость 1 м^2 ленточной мембраны до 10 руб.

1.12. Висячее покрытие над производственным помещением цеха сухого молока. В ряде случаев висячие покрытия имеют преимущества перед традиционными балочными конструкциями и при небольших пролетах.

На примере цеха, где были заменены типовые балочные конструкции на висячее покрытие, показана экономическая и производственная эффективность такой замены для сооружения, в котором распор передается на центральный массив и внешнее кольцо. Несмотря на затраты по увеличению жесткости наружного кольца получена экономия в расходе материалов на пролетные конструкции и существенно облегчено производство монтажных работ [29].

1.13. Шатровое покрытие гаража в Киеве. Использование высокой опоры в центре круглого висячего покрытия позволяет существенно увеличить диаметр сооружения, уменьшить распоры. Стабилизация данного покрытия во многом зависит от собственной массы и жесткости оболочки.

Гараж в Киеве диаметром 160 м перекрывается 84 радиальными канатами закрытого типа и ребристыми железобетонными плитами, швы между которыми заполняются раствором на расширяющемся цементе [35].

Расход на 1 м^2 стали 21 кг, бетона 10,3 см.

1.14. Висячие шатровые покрытия на подрабатываемых (просадочных) основаниях. Специфическое применение шатровых висячих покрытий на территориях с просадочными основаниями объясняется тем, что опирание всего покрытия производится в одной точке — на фундамент под центральной опорой, внешнее кольцо, выполняя роль балансира, способствует натяжению радиальных нитей и может не опираться на колонны или стены.

В Советском Союзе на подрабатываемых территориях построено большое число резервуаров для воды с шатровыми покрытиями диаметром до 36 м. Экономия от замены типовых покрытий висячими конструкциями составила до 35 руб. на 1 м^3 объема резервуара [58].

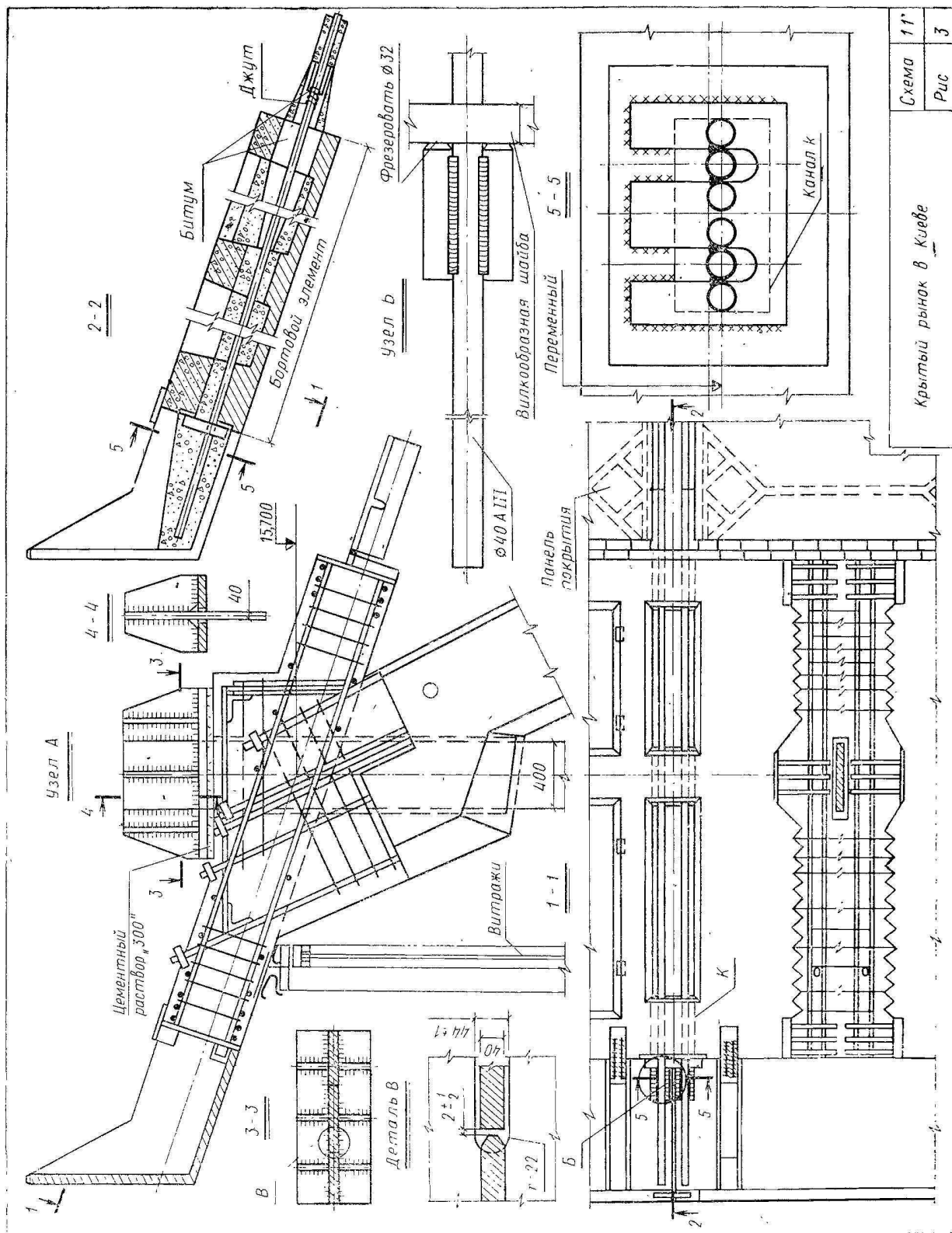
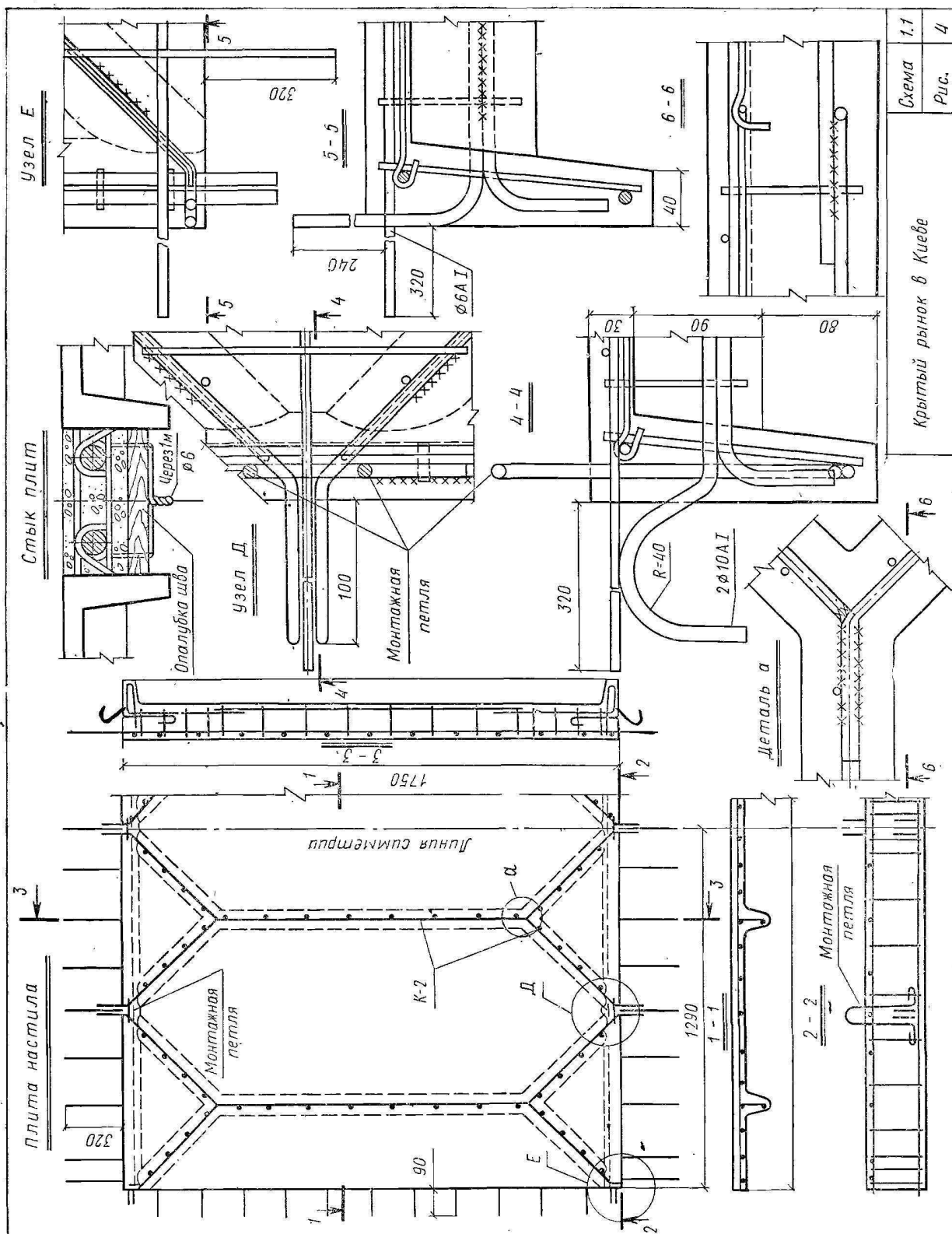


Схема	11*
Рис	3

Крытый рынок в Киеве



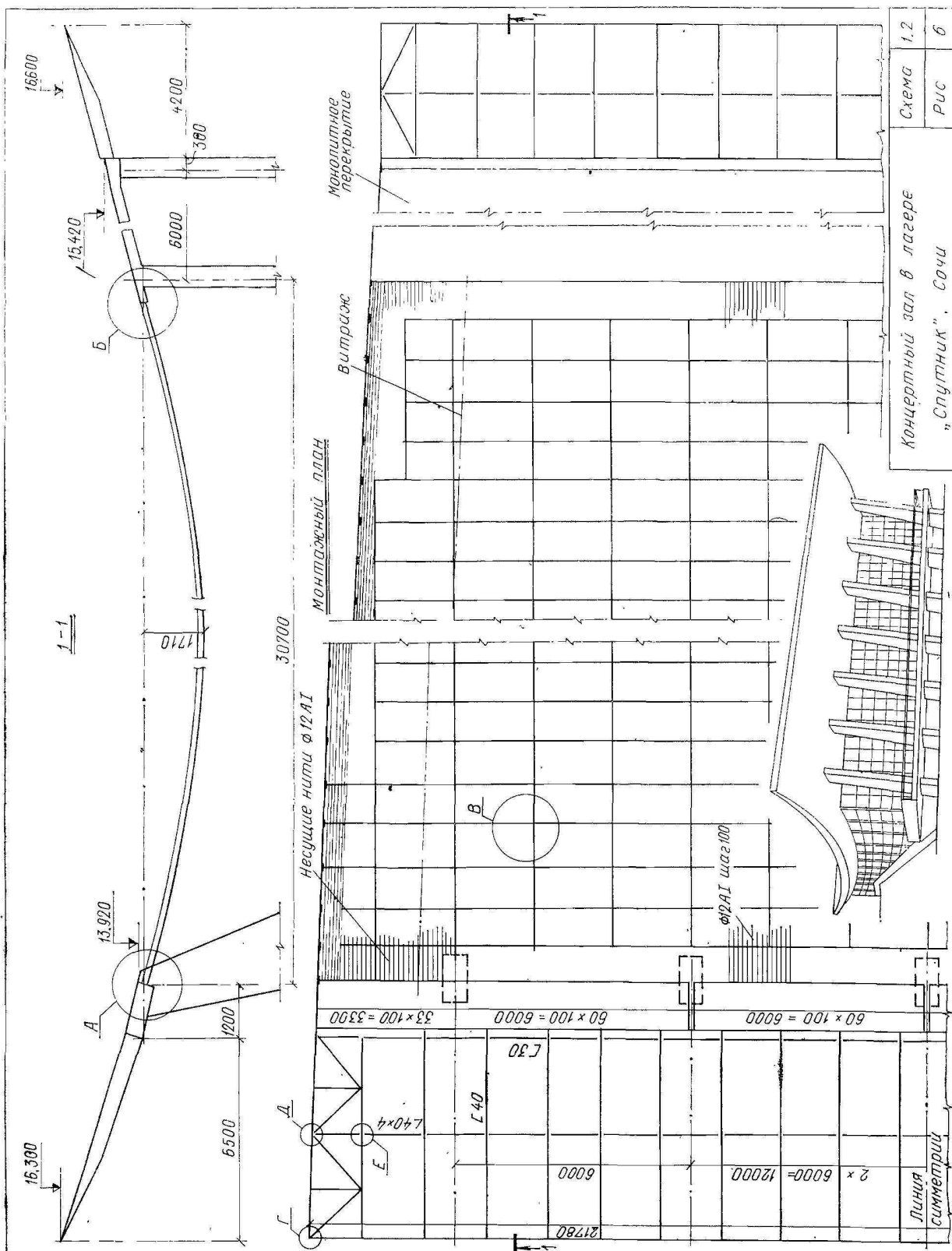


Схема	1.2
Рис	6

Концертный зал в лагере
"Спутник", Сочи

Линия
симметрии

