



МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

ВОРОНЕЖСКИЙ ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

Н.М. КИРСАНОВ

СПЕЦИАЛЬНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Выящие покрытия производственных зданий  
с подвесным крановым оборудованием

(Пособие к спецкурсу по металлическим конструкциям)

Воронеж-1975 г

## I. ВВЕДЕНИЕ. ПРИМЕРЫ ВИСЯЧИХ ПОКРЫТИЙ С ПОДВЕСНЫМИ КРАНАМИ.

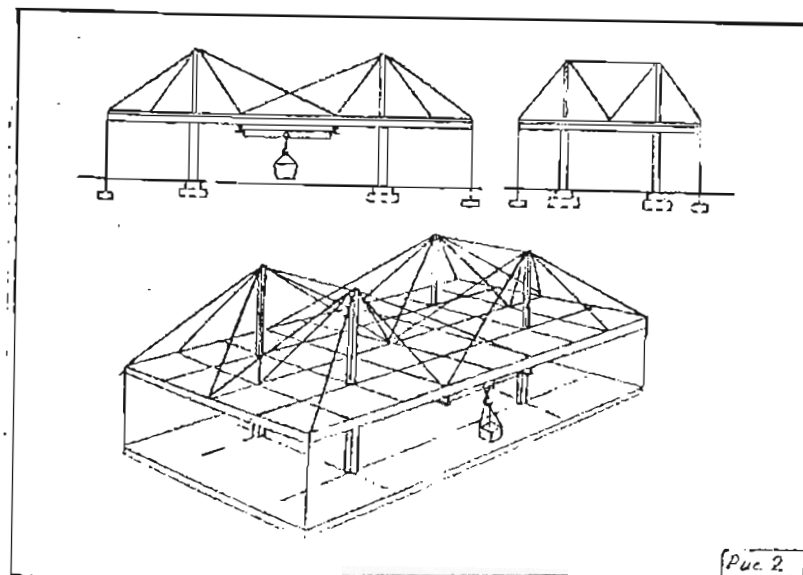
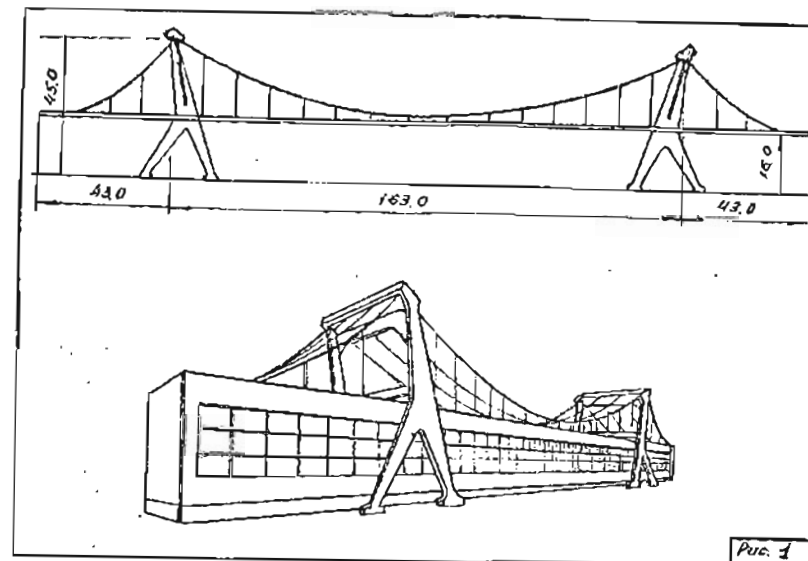
Существует целый ряд технологических процессов и производств, для которых необходимо возведение большепролетных покрытий с подвесным крановым оборудованием — это самолетостроительные заводы, автотранспортно-мастерские, универсальные цехи, предназначенные для выпуска крупногабаритной продукции, судостроительные эллинги, складские навесы и крытые сортировочные дворы.

Для возведения сооружений с увеличенными пролетами наиболее выгодно применять стали высоких марок, экономичность которых наиболее эффективно проявляется при использовании их в растянутых элементах висячих или вантовых систем. Такие схемы должны быть комбинированными — с балками жесткости, назначение которых — распределять сосредоточенные давления от подвесных кранов.

С предложениями по использованию висячих и вантовых ферм для промаданий неоднократно выступали советские ученые и инженеры Н.С. Стрелецкий, Ю.М. Лейбфрейд и др. [13,25]. По проекту, выполненному в ЦНИИ Проектстальконструкции, предполагается в ближайшее время построить вантовое покрытие с подвесными кранами [8].

Примером использования висячих конструкций для промышленного строительства может служить покрытие бумажной фабрики в Мантуе (Италия, автор проекта П.Нерви) с пролетом 163 м, где основные конструкции выполнены в виде висячего моста с вертикальными подвесками и с балками жесткости высотой 1,5 м, на которые уложены поперечные балки (Рис.1). Расчетные прогибы конструкции от снеговой нагрузки, принятой 100 кг/м составляют 1 : 1400 пролета. Расширение цеха предусматривается в продольном направлении пристройкой таких же конструкций параллельно существующим, [12].

-3-

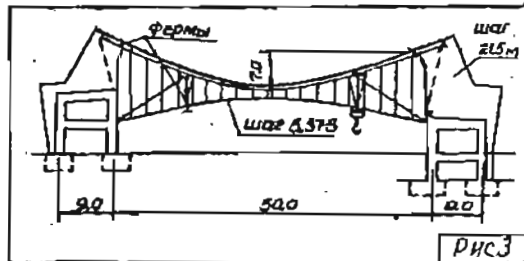


Вантовые конструкции рассматривались как варианты каркаса само-  
летосборочного цеха площадью 240 тыс. м<sup>2</sup> в гор. Эверетт (США) с  
пролетами 91 м и с подвесными кранами 27 т. При выборе окончатель-  
ного конструктивного решения вантовые фермы уступили тяжелым тра-  
диционным фермам из-за того, что сроки проектирования и возведения  
завода по производству самолетов Боинг-747 были весьма сжаты. Фир-  
ма пошла на большие затраты средств (всего потребовалось 39 тыс. тн  
высокопрочной стали), чтобы выдержать эти сроки, [29].

Представляет интерес проект универсального промышленного  
здания с вантовым покрытием и подвесными кранами до 5 т. (рис. 2).  
Шаг колонн принят 24 и 48 м (размеры ячейки), балки жесткости  
железобетонные, разрезные, пролетом 12 м, подвешены к вантам  
диаметром 47-52 мм. Монтаж покрытия должен производиться на нуле-  
вой отметке и подъем осуществляться гидравлическими домкратами с  
последующим закреплением тросов на несущих колоннах.

Крыша предусмотрена плоская, заполняемая водой. Расход метал-  
ла 25,6 кг/м<sup>2</sup>, приведенная толщина бетона - 14,5 см, стоимость по  
сравнению с конструкциями покрытия по обычным фермам снижена на  
20 %, [16].

В Берлине (ГДР) много лет существует висючее покрытие над  
автобусной ремонтной мастерской пролетом 50 м с подвесными кранами.



Шаг двухпролетных тросовых ферм - 5,375 м. Для увеличения жестко-  
сти фермы усилены восходящими вантами. Распор от несущих тросов  
передается на "лежащие" фермы, которые опираются на торцевые  
кожухорсы (рис.3).

В связи с увеличением объема воздушных перевозок и развитием  
международных авиалиний, на которых используются тяжелые самолеты  
типа Ту-144, Ил-62, Боинг-747, Конкорд и др. - возрастает потреб-  
ность в строительстве большепролетных ангаров для технического  
обслуживания самолетов.

Во Франкфурте на Майне (ФРГ) в 1970 году построен ангар раз-  
мером по фасаду 320 м и глубиной 100 м. Покрытие состоит из 10  
плоских поперечников, представляющих собой двухпролетные висючие  
комбинированные системы на козловых опорах (рис.4).

В каждой полосе на вертикальных подвесках к нитям подвеше-  
на балка высотой 1,2 - 0,7 м, на которой расположены пути кранов  
грузоподъемностью 7,5 - 10 т. В середине ангара гибкие полосы  
опираются на порталную раму пролетом 78 м. Распоры от несущих  
нитей передаются на бетонные контр-грузы объемом 435 м<sup>3</sup>. Между  
опорами и средней порталной рамой в каждом поперечнике натянута  
горизонтальная ванта, жестко связанная с гибким несущим элементом  
в двух точках пролета. Каждая полоса имеет 28 стальных стержней  
диаметром 26,5 мм, а ванта состоит из 5 стержней того же сечения.  
Оболочка-полоса шириной 7,5 м и толщиной 8,6 см выполнена из бето-  
на с объемным весом 1600 кг/м<sup>3</sup>. Между бетонными полосами включены  
световые треугольные фонари шириной 3 м. Пролет нитей 130 м, стре-  
ла 10 м. Предельные дополнительные провесы нитей от временных  
нагрузок - 80 см ( $\frac{1}{163}$  пролета).

В продольном направлении нити связаны водосточным лотком и балками, расположенными по пролету с шагом 10 м. Благодаря членений покрытия на плоские секции, покрытие удалось возвести за 15 месяцев. Расход металла составил  $130 \text{ кг/м}^2$  (4800 т), [32].

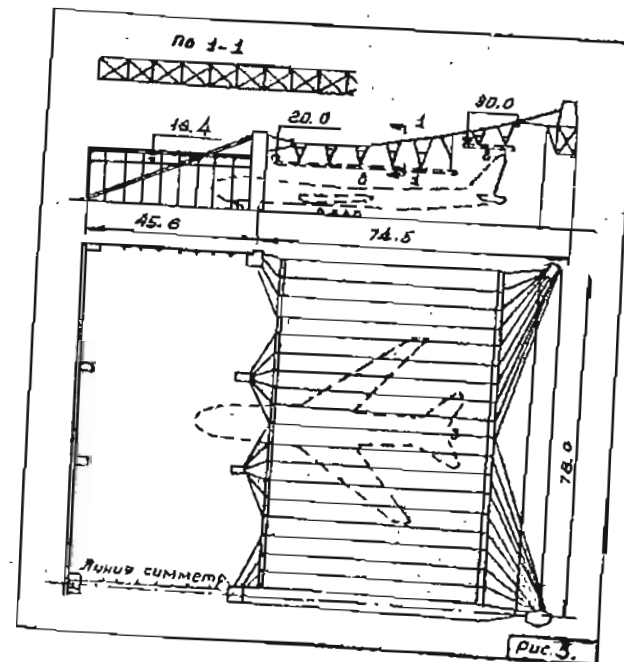
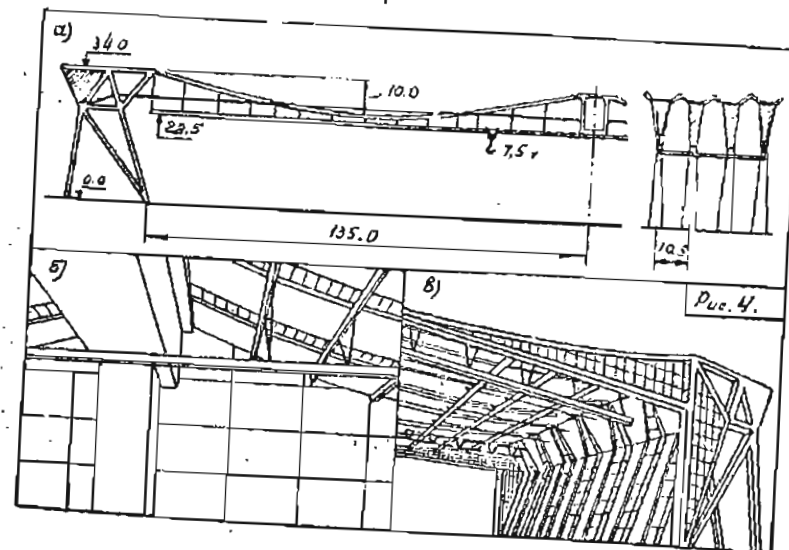
В международном аэропорту Рим-Флумичино в 1970 году построен двухсекционный ангар для ремонта самолетов Боинг-747 с пролетами по 78 м (рис. 5).

В качестве несущих элементов покрытия используются жесткие нити прямоугольного сечения  $15 \times 40 \text{ см}$  — обетоненные предварительно напряженные проволоочные пучки. Расположенные параллельно с шагом 4,45 м на двух поперечных балках, находящихся на разных высотах, жесткие нити объединяются и передают распор на пилоны — на три пилона с лицевой и на семь — с тыльной стороны ангара. Крановые пути подвесных кранов грузоподъемностью 10 т подвешиваются к поперечным фермам треугольного сечения на отметках 17,8 и 28 м. Высота ворот такая же, как и в ангаре во Франкфурте-на-Майне — 21 м. Освещение осуществляется через фонарные проемы, предусмотренные в каждой плите покрытия.

## 2. ОБЛАСТИ РАЦИОНАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ВИСЯЧИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

Висячие покрытия с подвесной крановой нагрузкой могут применяться для производственных зданий двух типов:

а) Здания, в которых по технологическому процессу необходимо иметь большие пролеты (60 м и более). Здесь преимущества применения висячих конструкций по сравнению с другими схемами (балочными, рамными, арочными) определяются экономичностью высокопрочных тросовых элементов, которые работают на растяжение и, следо-



вательно, их сечения подбираются без учета коэффициента устойчивости  $\varphi$  (эффективность использования высокопрочных сталей в сварных элементах значительно понижается из-за введения коэффициента  $\varphi$ ). Тросовые фермы удобно транспортировать с завода-изготовителя. Известно, что перевозить крупногабаритные балочные или рамные конструкции довольно сложно, иногда тяжелые фермы перевозят в разобранном виде - "россыпью", что повышает трудоемкость возведения и требует организовывать сложную укрупнительную сборку на строительной площадке.

Висячие фермы, вес которых во много раз меньше веса жестких конструкций, проще монтировать, чем другие большепролетные конструкции. Это подтверждается на примерах возведения висячих покрытий общественных зданий (Дворца спорта "Юбилейный" в Ленинграде [27] и др.). Чтобы судить о весе подобных конструкций, состоящих из жестких элементов, отметим, что по данным профессора Н.П. Меньникова [15] вес рамы сборочного цеха пролетом 120 м с крановой нагрузкой 15 т составляет несколько сот тонн, тогда как висячий мост такого же пролета при большей расчетной нагрузке имеет общий вес меньше ста тонн.

б) Производства, для которых целесообразно возведение зданий больших пролетов, но для которых пока принято проектировать каркасы с пролетами до 30 м - для машиностроительных заводов, некоторых зданий металлургического цикла - трубопрокатных цехов и волочильных производств, предприятий строительной и добывающей промышленности, а также для легкой индустрии. Опыт эксплуатации цехов с "гибкой" (универсальной) технологией показал, что покрытия больших пролетов допускают свободное, не стесненное колоннами расположение технологических линий, в результате чего могут быть экономлены

площади цеха.

В качестве примера можно привести выполненную в одном из проектных институтов технологическую проработку цеха среднего машиностроения. В результате новой планировки выяснилось, что четырехпролетный каркас с пролетами по 24 м может быть заменен однопролетным шириной 84 м (14 % экономии).

К технологическим преимуществам большепролетных цехов относятся также возможность быстрой замены технологического оборудования в связи с переходом на выпуск нового вида продукции, лучшее обложение технологических потоков подвесным крановым оборудованием, чем в зданиях с небольшими пролетами, лучшие условия для размещения конвейерных линий.

Несомненны преимущества большепролетного комбинированного висячего покрытия перед многопролетным каркасом и с точки зрения уменьшения трудоемкости монтажа, так как перекрестные балки крановых путей могут быть собраны на земле, подняты в проектное положение крупным блоком и подвешены к ваятам или тросам.

Условиями экономичного применения висячих и вантовых систем в большепролетных покрытиях промываний (больше 48 м) являются:

1. Возможность рационального осуществления анкерного устройства, на которое должен передаваться распор от пролетной конструкции. Как показывает опытное проектирование, стоимость анкера составляет 40-50 % от стоимости всего сооружения. Наиболее экономичными анкерными конструкциями можно считать оседающие здания рамно-каркасного типа, на которые передается распор от покрытия.
2. Местная временная нагрузка должна быть относительно небольшой - подвесные краны при пролетах зданий 48-60 м должны иметь

грузоподъемность не более 10-15 т. Это условие связано с требованиями по обеспечению жесткости покрытия, которое в обычном варианте "нить-бабка" более деформативно, чем другие типы покрытий из-за кинематических перемещений нити при действии местной временной нагрузки.

### 3. АНКЕРНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ВИСЯЧИХ ПОКРЫТИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

Промышленные здания имеют, как правило, прямоугольную планировку, которая соответствует традиционным схемам технологических процессов. В качестве несущих элементов промышленных каркасов принимаются плоские конструкции, повторяемые по длине цеха, что позволяет просто решать вопросы расширения производственных площадей путем пристройки подобных поперечных конструкций. Однако для прямоугольных покрытий невыгодно применять замкнутый анкерный контур, так как в нём возникают большие изгибающие моменты. Поэтому в висячих покрытиях промышленных зданий распор передается на отдельные анкеры по обе стороны покрытия. Опыта проектирования и, тем более, возведения таких анкерных элементов пока не накоплено, возможно большое разнообразие конструктивных решений анкеров в зависимости от местных условий. Отметим, что к анкерным конструкциям покрытий промышленных предприятий предъявляются следующие требования.

а) Жесткость - при действии временной нагрузки смещения узлов, в которых несущий трос прикрепляется к анкерной конструкции, должны быть минимальными, так как перемещения концов нити существенно влияют на увеличение провеса (на прогибы) пролетной конструкции в середине пролета. Для уменьшения упругих удлинений оттяжки, соединяющие верх пилона с анкером, выполняют из предварительно напряженных стержней, как это было сделано в гараже в Красноярске [9].

повышают уровень расположения противовесов (ангар во Франкфурте на Майне), что исключает промежуточные элементы (оттяжки) между пилонами и анкерами.

б) Анкерные конструкции не должны загромождать ни территорию, где расположено сооружение, ни внутреннее помещение. Они должны входить в состав сооружения, как функциональные элементы ограждения каркаса вспомогательных зданий, перекрытий.

Рассмотрим некоторые варианты анкерных конструкций:

1) Распор передается на рамные каркасы соседних зданий (рис.6). Оттяжки, соединяющие верх пилонов с колоннами рамы, как отмечалось, желательно выполнять из железобетона или из стальных прокатных профилей с целью уменьшения удлинений этих элементов. Рамы дополнительно рассчитываются на распоры от постоянной и снеговой нагрузок, которые на все рамы передаются равномерно. Расчет рамы на распор от крановых нагрузок может быть выполнен с учетом пространственности рамного каркаса. Проверяются фундаменты и узлы колонн на растяжение и выдергивание под действием вертикальных составляющих в оттяжках.

Многопролетные рамные каркасы могут воспринимать дополнительные горизонтальные воздействия при незначительном усилении колонн и лишь в месте передачи вертикальных составляющих требуется замена обычных фундаментов под колоннами на анкерные. При передаче распора от висячего покрытия на однопролетные или двухпролетные рамы усиление их должно быть существенным.

2) Передача распора на анкерные фундаменты, расположенные в грунте, может быть принята для покрытий в том случае, если пространство под оттяжками (которые в этом случае для уменьшения продольных деформаций должны быть приняты жесткими) используется как

лезное помещение [9], схема 2.1. Шаг анкерных фундаментов желательно увеличивать до 12 м, либо проектировать непрерывную анкерную балку, расположенную на расчетной глубине вдоль всего здания. К такой балке можно крепить оттяжки с шагом 6 м и чаще. Отрывка котлована для балки может быть выполнена траншейным способом с помощью канавкопателя, а сама балка может быть изготовлена на заводе и привезена на строительную площадку в виде блоков.

3) Использование противовесов в качестве элементов, воспринимающих распор, имеет определенные эксплуатационные преимущества (рис. 7) — исключается влияние оттяжек на прогибы пролетной конструкции, создается предварительное напряжение висячей фермы, компенсируются температурные и упругие деформации несущих нитей. Но для обеспечения неизменяемости поперечной конструкции здесь также требуется введение легких вертикальных оттяжек или подкосов, которые могут быть поставлены после натяжения тросов контргрузами.

Недостатком схемы (рис. 7 а) является то, что из-за большой массы противовесов утяжеляются колонны. Расчет такого анкера должен производиться в составе статически неопределимой поперечной конструкции покрытия.

4) Распор передается на подкосы, опирающиеся на фундамент пилонов в плоскости каждой оттяжки (рис. 8 а). В этом случае фундаменты под пилонами требуется проверить на сдвиг под действием горизонтальных составляющих усилий от подкосов. Равновидностью жестких анкерных конструкций является консоль-стенки, заделанные в фундаменте (рис. 8 б), а также комбинированная схема — вертикальный трос и подкос (рис. 8 в).

5) Если в продольном направлении по технологическим соображениям

требуются большие пролеты между опорами и в плоскости каждой оттяжки нельзя установить анкерную конструкцию (подкос и т.п.), то при небольшой длине здания (например, здание ангара) возможна передача распора на продольный распределительный элемент, который передает усилия на торцевые стены или подкосы. В качестве продольного элемента могут быть приняты горизонтальные балки-связи, омоноличенное перекрытие над вспомогательными помещениями, трос-подбор (или жесткая нить) с продольной распоркой (рис. 9). Вертикальные составляющие усилий от концевых закреплений несущего кабеля следует передавать на балку жесткости или на вертикальный трос-подбор (рис. 9 в).

Расчет анкерных конструкций с продольным распределительным элементом представляет собой сложную задачу, так как эти элементы, связывая между собой поперечники, образуют многократно статически неопределимую систему [17].

6) В покрытиях промышленных зданий могут быть использованы и внешне безраспорные варианты висячих конструкций — с передачей распора на концы балки (рис. 1). За счет осевой силы сечения балки получает дополнительное развитие сечение и вес её увеличивается на 50-75 % по сравнению с безраспорными вариантами. Вертикальная составляющая оттяжки, передающей усилие от несущего кабеля, может быть воспринята вертикальным тросом или наклонным — с передачей усилия на фундамент пилона (рис. 8 г). Если компоновка здания не позволяет установку тросов, то концевая консоль балки рассчитывается на вертикальную составляющую от усилия в оттяжке. Неизменяемость системы, её горизонтальная жесткость обеспечивается вертикальными или наклонными тросами [12], подкосами, жесткой заделкой пилонов в фундаментах и продольными связями при неизменяемых

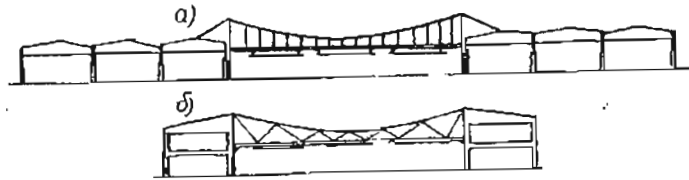


Рис. 6

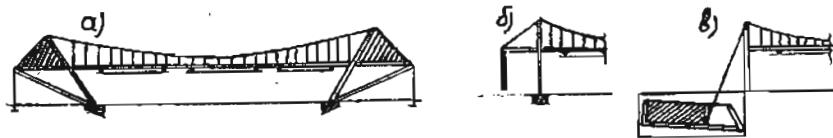


Рис. 7

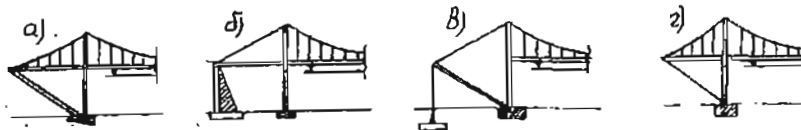


Рис. 8

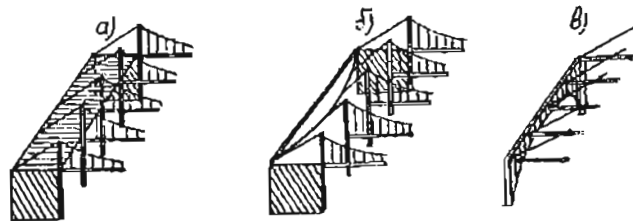


Рис. 9

торцевых конструкциях.

В заключение следует отметить, что при выборе типа анкерных устройств должно быть рассмотрено несколько вариантов конструкций, которые отвечают местным условиям возведения сооружения и требованиям, предъявляемым к его планировке. Должны быть продолжены поиски новых экономичных конструктивных решений анкеров, так как стоимость их составляет большую часть стоимости всего сооружения.

#### 4. СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЖЕСТКОСТИ ВИСЯЧИХ КОНСТРУКЦИЙ

Основной особенностью висячих конструкций является их меньшая жесткость по сравнению с традиционными балочными или рамными конструкциями. Дополнительные провесы гибкой нити (прогибы) возникают как следствие двух причин - упругих продольных удлинений нити при загрузке временной нагрузкой части или всего пролета, а также в результате изменения формы равновесия гибкой нити или так называемых "кинематических перемещений" при местном (сосредоточенном) действии нагрузки (рис. 10). Таким образом, могут быть предложены две группы мероприятий по увеличению жесткости висячих конструкций.

I) Уменьшение упругих (осевых) удлинений несущих элементов. С этой целью следует уменьшить напряжения в нити и увеличить модуль упругости её. К способам уменьшения упругих удлинений относятся:

а) Предварительное обжатие железобетонного настила, включение несущего троса в бетонную напрягаемую оболочку и т.п. Предварительное напряжение производится на монтаже: навешиваются тросы, укладывается балласт и затем заделываются промежутки между плита-



ми высокопрочным цементным раствором или закладными шайбами в покрытиях с металлическим корочатым настилом. Балласт снимается, плиты получают обжатие.

б) Использование в качестве несущих элементов-пучков с параллельными проволоками или прокатных профилей из высокопрочной стали. Недостаток последних - худшая, чем у тросов, работа на знакопеременные напряжения и сложность монтажа при больших пролетах.

в) Предварительное напряжение покрытия можно осуществить с помощью второго оттяжного пояса или восходящими вантами. Но в этом случае на каркас здания будут переданы дополнительные усилия от распора во втором поясе.

## 2. Уменьшение кинематических перемещений.

Причиной кинематических перемещений нити является изменение первоначальной формы равновесия гибкой нити при неравномерном нагружении пролета новой нагрузкой, результатом чего являются горизонтальные перемещения нити с одного участка пролета на другой. Поэтому для уменьшения кинематических перемещений следует накладывать на нить горизонтальные связи. Комбинированные всячие схемы, в которых кроме гибкой нити и элемента жесткости (балки, арки) имеются дополнительные усиливающие ванты или узлы, называются всячими системами повышенной жесткости.

В всячках покрытиях промышленных зданий с подвесными кранами могут быть применены следующие схемы повышенной жесткости:

а) Схема с жестким прикреплением кабеля к балке в середине пролета (рис. 11). Сохраняя простоту конструктивных узлов, данная система жестче, чем обычная - при нагружении половины пролета она имеет прогибы на 20-30 % меньше, чем неусиленная схема. Возникающее сжатие балки при несимметричном нагружении пролета не

вызывает в ней больших напряжений, так как изгибающие моменты соответственно уменьшены, а устойчивость в вертикальной плоскости обеспечена подвесками.

При проектировании данной схемы необходимо предусматривать передачу горизонтальной реакции балки на каркас, что несколько снижает эффективность схемы.

б) Двухкабельные системы С.А. Чаплина (две схемы - с жесткой подвеской в середине пролета и без подвески, рис. 12) построены по такому же принципу, что и предыдущая схема, но у них есть перед ней преимущество - балки двухкабельных схем не получают сжатия и не передают горизонтальных усилий на опоры. Кроме этого расстояние между балкой и кабелем в середине пролета больше, чем в первой схеме, что создает удобства для размещения вертикальных продольных связей.

в) Однокабельная схема, усиленная нисходящими вантами (рис. 13). В этой схеме сосредоточенные воздействия от краев воспринимаются, в основном, вантами, которые следует прикреплять к балке в точках, где подвешены балки крановых путей, если движение кранов продольное. Число вант, идущих от каждого пикона - 2-3, при большом числе усложняется конструкция верхнего узла и монтаж. В этой схеме, как и в первой, балка испытывает сжатие или растяжение при одностороннем нагружении. Горизонтальное усилие от балки должно быть воспринято элементами каркаса здания.

г) Схема с восходящими вантами (рис. 14) по характеру воздействия на опорные конструкции близка к двухпоясной схеме (рис. 15). Как в той, так и в другой схемах для восприятия нагрузки, распределенной по всему пролету, требуется предварительное напряжение

отяжных восходящих элементов и устройства дополнительных анкеров. При загрузке половины пролета кинематические перемещения в схеме с лантами меньше, чем в двухпоясной схеме, которая при загрузке части пролета получает почти такие же прогибы, что и однокабельная. (Это объясняется тем, что в двухпоясной схеме на пояса не накладывается горизонтальных связей, а действие напрягаемого нижнего пояса на верхний аналогично приложению постоянной нагрузки). Конструктивная особенность схемы с восходящими вантами - необходимо обеспечивать несдвигаемость узлов, в которых ванты прикрепляются к основному кабелю. Это достигается введением так называемого дистанционного кабеля, который прерывается в каждом узле [8], лист 16.

д) Висячие схемы с треугольной решеткой (рис.16) являются наиболее жесткими при загрузке временной нагрузкой части пролета, что объясняется наложением горизонтальных связей на кабель и включением балки в работу на горизонтальные усилия. При поперечном движении кранов (вдоль пролета) в легких покрытиях возможно выключение некоторых элементов из работы, но это происходит плавно и не отражается на несущую способность фермы и на её динамические характеристики. К недостаткам системы можно отнести некоторое усложнение конструкций узлов по сравнению с обычной схемой и увеличение трудоемкости монтажа, а также необходимость передавать на каркас горизонтальные усилия от балки.

Следует отметить, что при загрузке временной нагрузкой всего пролета прогибы в середине пролета всех рассмотренных схем почти одинаковы, если одинаковы сечения основных несущих кабелей. Применение висячих систем повышенной жесткости служит, главным образом, уменьшению кинематических перемещений и почти не влияет на упругие деформации кабелей.

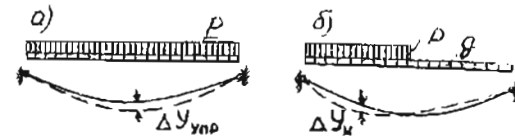


Рис. 10



Рис. 11

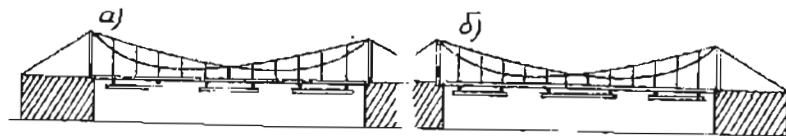


Рис. 12

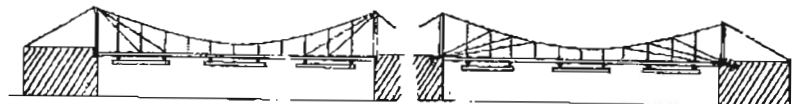


Рис. 13

Рис. 14



Рис. 15

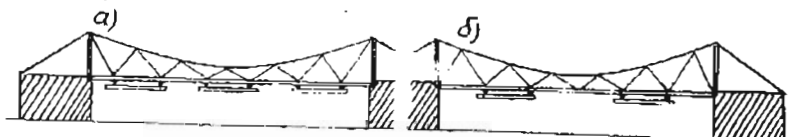


Рис. 16

## 5. НОРМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВИСЯЧИХ ПОКРЫТИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ С ПОДВЕСНЫМИ КРАНАМИ

Проектирование промышленных зданий с висячими покрытиями производится по СНиПу, и по инструкциям, которые обычно используются для проектирования отдельных видов специальных конструкций и элементов. Так для висячих покрытий данного типа может быть использовано "Руководство по проектированию висячих и вантовых стальных конструкций линейно-протяженного типа", ЦНИИПроектстальконструкция [21], специфические требования к сооружению могут быть указаны в задании на проектирование. Наиболее важными нормативами являются:

1) Предельные прогибы. Известно, что по СН 200-62, [28] для висячих мостов нормируется сумма прогиба и подъема балки при местном нагружении - допускается  $\frac{l}{300}$  пролета. Для покрытий с подвесными кранами по СНиПу допускается прогиб  $\frac{l}{400}$  пролета. Эти нормы могут быть приняты для расчета несущих элементов - балки жесткости, тросов - без учета омоноличивания и предварительного напряжения настила, т.е. в "вантовом" состоянии (но с учетом продольных связевых балок или ферм, распределяющих крановую нагрузку). Известно, что омоноличивание настила, превращение покрытия в оболочку, как показывает опыт возведения бескрановых висячих покрытий, ведет к уменьшению прогибов в 3-4 раза, [3]. Требования к обеспечению жесткости в "вантовом" состоянии должны гарантировать сохранение несущей способности и жесткости в случае потери предварительного напряжения, расстройств стыков между элементами покрытия, появления трещин, нарушения омоноличивания.

2) Количество кранов, которое следует одновременно учитывать при расчете покрытий с подвесными кранами, приводится в Указавиных СН 355-66 [30]. Для расчета прочности отдельных узлов, элементов и для проверки жесткости рекомендуется загружать покрытие четырьмя кранами и снегом. Проверку прочности кабеля и анкеров, следует проводить при работе всех кранов, которые могут загружать расчетную поперечную конструкцию с учетом снега на покрытие. При этом должен быть введен коэффициент сочетания к временным нагрузкам - 0,8.

3) Коэффициенты запаса (надежности) при расчете анкерных фундаментов и конструкций на выдергивание и опрокидывание следует принимать по нормам расчета подобных элементов в висячих мостах [28].

## 6. КОМПОНОВКА НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ВИСЯЧИХ КОМБИНИРОВАННЫХ ПОКРЫТИЙ

Общие приемы компоновки висячих конструкций нами подробно описаны в книге [10]. Рассмотрим особенности компоновки однопролетных висячих покрытий промышленных зданий с подвесным крановым оборудованием. При необходимости возведения многопролетных зданий с висячими покрытиями требуется надежно изолировать кабель в каждом пролете, ограничивать перемещение его из одного пролета в другой, чтобы не допускать больших прогибов в одном пролете. Для этого можно жестко прикрепить кабель к пилонам и включить в работу на изгиб пилоны, либо соединить пилоны специальным кабелем, который должен быть постоянно натянут противовесом [31], рис. 7 в.

### 1) Выбор уровня расположения кровли.

Кровлю можно располагать либо в уровне балки жесткости либо по верхнему поясу висячих ферм - по тросам.

Первый вариант имеет следующие преимущества:

- а) Для покрытия можно использовать стандартные элементы - тил, прогоны, балки.
- б) Объём здания меньше по сравнению со вторым вариантом, что снижает расходы по отоплению помещения.
- в) Меньше, чем во втором варианте, затраты на возведение ограждающих конструкций - нет стен по высоте пилона и кровля имеет меньшую протяжённость, а также постоянный уклон, что важно для выбора вельного ковра.
- г) Возможно применение блочного монтажа поперечных и продольных конструкций жесткости вместе с настилом и кровлей.

Второй вариант основное преимущество имеет в возможности создания предварительного напряжения - обжатия настила, включение его в работу по распределению нагрузки и на местные загрузки краями.

В этом варианте подвески не проходят через кровлю и не нарушают её, как в первом варианте. Блочный монтаж может использоваться для подъёма перекрестных балок или ферм, к которым подвешиваются края.

2. Конструкция связей. Как в любом покрытии с подвесным крановым оборудованием, здесь связи должны быть как по верхним поясам балок или ферм, так и по нижним - для обеспечения устойчивости поясов (здесь оба пояса могут быть сжаты) и для передачи горизонтальных тормозных усилий. Большое значение придается вертикальным продольным связям, которые в таких покрытиях кроме монтажных функций несут функции распределительных элементов - передают крановую

нагрузку с более нагруженных поперечных элементов на соседние менее нагруженные.

3) Стрела провеса основного несущего кабеля. При выборе стрелы кабеля руководствуются следующими соображениями.

При малых стрелах провеса возникают большие распоры, что увеличивает стоимость анкерных конструкций, составляющих большую часть стоимости всего сооружения. Кроме этого увеличиваются продольные деформации кабеля при действии временной нагрузки и возрастают прогибы в середине пролета. Однако с увеличением стрелы кабеля увеличиваются кинематические перемещения гибкой нити. Как отмечалось, эти прогибы можно уменьшить при использовании в качестве несущих элементов висячие фермы повышенной жесткости. Поэтому для покрытий рекомендуются стрелы провеса  $\frac{l}{8} + \frac{l}{10}$  пролета и усложненные висячие фермы.

4. Высота балки жесткости. Назначение балки - распределять сосредоточенные нагрузки между подвесками, уменьшать прогибы при местном нагружении пролета, передавать горизонтальные усилия на неподвижные опоры.

В покрытиях промышленных зданий основными нагрузками являются крановые, создающие большие местные воздействия, поэтому высота балки жесткости должна быть развита и коэффициент  $K_f$  в формуле

(1.15) [10] следует принимать от 15 до 20:

$$\frac{h_f}{l} = \frac{1}{15-20} \cdot \frac{l}{\Delta y} \cdot \frac{R}{E} \cdot \frac{1}{n_p} \quad (1)$$

где:  $R, E$  - расчетное сопротивление и модуль упругости материала балки,

$\frac{\Delta y}{l}, n_p$  - предельные прогибы, коэффициент перегрузки временной нагрузки.

Для покрытий с большой грузоподъемностью подвесных кранов (больше 10 т) рекомендуется в качестве элемента жесткости использовать фермы или балки с перфорированной стенкой. Развитие высоты балки или фермы жесткости требуется по конструктивным соображениям - для увеличения жесткости продольных вертикальных связей, для более удобного объединения элементов двух направлений в систему перекрестных ферм.

5) При компоновке немаловажным является решение таких вопросов, как: а) выбор направления движения кранов - продольное или поперечное; б) назначение шага несущих поперечных конструкций, который зависит от пролета (до 60 м - рекомендуется шаг 6-12 м, пролет 60-120 м - шаг 12-18 м); в) выбор материала несущих конструкций, типа настила и т.п. Все эти компоновочные вопросы либо определяются заданием, либо решаются путем экономического анализа с учетом конкретных местных условий и технологических требований производства.

### 7. СБОР НАГРУЗОК НА ПОВЕРЕЧНУЮ КОНСТРУКЦИЮ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ

I. Постоянная нагрузка на погонный метр поперечной (висячей) конструкции (на погонный метр "поперечника") :

$$q_{\perp} = n_1 (q_{\text{н}} + q_{\text{с.в.}} + q_{\text{б}}) \delta, \quad (2)$$

где:

$q_{\text{н}}$  - нормативный вес настила и кровли,  
 $q_{\text{с.в.}}$  - собственный вес поперечных несущих конструкций и продольных вертикальных связей (30-60 кг/м<sup>2</sup>),

$q_{\text{б}}$  - вес балок крановых путей (10-20 кг/м<sup>2</sup>),  
 $n_1$  - коэффициент перегрузки,  $n_1 = I, I, I,$   
 $\delta$  - шаг поперечных конструкций.

2) Аналогично определяется снеговая нагрузка на погонный метр поперечной конструкции. Коэффициент С, учитывающий профиль покрытия может быть принят равным единице.

3) При сборе нагрузок от подвесных кранов рекомендуется учитывать следующее:

а) для схем с поперечным движением кранов нагрузки на поперечную конструкцию подсчитываются от всех кранов, работающих одновременно по обе стороны рассчитываемой балки жесткости. При числе кранов более четырех вводится коэффициент сочетания 0,8.

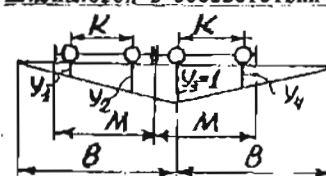
б) При продольном движении кранов учитывается сближение не более двух кранов на одном пути.

в) Для подбора сечения кабеля по прочности, расчета анкеров и пилонов распор определяется от возможного скопления всех кранов по пролету (с учетом коэффициента сочетания 0,8). При этом на каждом продольном пути должно учитываться не более двух кранов.

г) Определение расчетных прогибов и изгибающих моментов в балке жесткости выполняется при одновременном действии на балку не более, чем четырех кранов.

Для сбора нагрузок от кранов следует пользоваться каталогами подвесных кранов [14, 23].

Вычисление опорных давлений при продольном движении кранов выполняется в соответствии с рис. 17.



$$D_{\text{макс}} = \mu n_{\text{кр}} P_{\text{макс}} \sum y_i, \quad (3)$$
$$D_{\text{мин}} = \mu n_{\text{кр}} P_{\text{мин}} \sum y_i.$$

$P^k$  - нормативное давление катков крана (по каталогу)

Рис.17

$K, M$  - габариты крана,

$n_{кр}$  - коэффициент перегрузки,  $n_{кр} = 1,2$

$\beta$  - динамический коэффициент,  $\beta = 1,1$ , учитывается при всех расчетах кроме расчета на прочность кабеля, анкеров и пилонов.

$\sum y_i$  - сумма ординат линии влияния опорных давлений от двух балок (рис. 17).

4) Ветровая нагрузка на стеновые ограждения определяется по СНиП. Расчет покрытия на аэродинамические воздействия и выяснение возможности подъема кровли ветром производится лишь для очень легких покрытий и эта опасность должна предотвращаться постановкой оттяжных поясов или восходящих вант (рис. 14, 15). Расчетные аэродинамические коэффициенты для цилиндрического покрытия могут быть приняты в пределах  $0,7 - 0,9 [I]$ .

5) Предварительное определение сечения кабеля или жесткой вилы выполняется по двум предельным состояниям а) по прогибам в середине пролета -  $1,4$ , см. [10]:

$$F_k = \frac{3}{128} \frac{(p_{сн}^H + q_{кр}^H) l^2 \beta L_p}{E_k \Delta f f^2}, \quad (4)$$

где:

$p_{сн}^H$  - снеговая нормативная нагрузка на погонный метр поперечной конструкции,

$q_{кр}^H$  - эквивалентная крановая нагрузка (нормативная), которая принимается из равенства балочных моментов от кранов и от распределенной эквивалентной нагрузки:

$$q_{кр}^H = \frac{M_{кр}^H \cdot 8}{l^2}, \quad (5)$$

$M_{кр}^H$  - изгибающий момент от кранов в балке пролетом  $l$ ,  
 $E_k$  - модуль упругости кабеля принимается для витого каната или троса  $E_k = 1,3 \cdot 10^6 + 1,5 \cdot 10^6$  кг/см<sup>2</sup>, для проката -

$E_k = 2,1 \cdot 10^6$  кг/см<sup>2</sup>, для пучков из параллельных высокопрочных проволок  $E_k = 2,0 \cdot 10^6$  кг/см<sup>2</sup>.

$\frac{\Delta f}{l}$  - предельный прогиб. В данном случае рассматривается действие всех временных нагрузок и не учитывается пространственность конструкции, поэтому можно принять предельные прогибы  $\frac{\Delta f}{l} = \frac{1}{300} + \frac{1}{400}$

б) по прочности площадь кабеля определяется в предположении, что вся постоянная и временная нагрузки передается только на кабель (на самом деле балка воспринимает на себя 10-15 % временной нагрузки).

$$F_k = \frac{(q_1 + q_{кр} + p_{сн}) l^2}{8 f R_k} \left( 1 + \frac{8 f^2}{l^2} \right), \quad (6)$$

$q_1$  - постоянная нагрузка кг/м

$q_{кр}$  - эквивалентная временная нагрузка (5) с учетом коэффициентов перегрузок  $n_{сн} = 1,4$ ,  $n_{кр} = 1,2$ .

$R_k = (0,5 + 0,6) \sigma_{пч}$  - для кабелей  $\sigma_{пч}$  - временное сопротивление кабеля, см. ГОСТы [23].

Из двух площадей, найденных по формулам (4) и (6) для дальнейшего расчета принимается наибольшая. Если прочность кабеля не используется и нить подбирается по жесткости, следует обсудить возможность замены кабеля прокатным профилем.

Требуемая жесткость балки поперечника определяется по предельным прогибам при загрузке половины пролета в предположении, что

кабель нерастяжим:

$$EJ = \frac{5}{384} \frac{(q_{кр}^H + P_{сн}^H) l^3}{32} \cdot \frac{l}{\Delta f}, \quad (7)$$

где

$q_{кр}^H, P_{сн}^H$  - эквивалентная временная нагрузка (5),  
 $\frac{\Delta f}{l}$  - заданный предельный прогиб.

### 8. РАСЧЕТ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ВИСЯЧИХ ПОКРЫТИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

Расчет внешнераспорных висячих систем отличается от расчета других конструкций тем, что при определении усилий в элементах системы необходимо учитывать изменения ее геометрической схемы, которые появляются при действии временной нагрузки. Таким образом, в этих схемах нарушаются линейные зависимости между внешней нагрузкой и напряжениями или деформациями в элементах. Учет геометрической нелинейности позволяет выявить в висячих схемах дополнительные запасы прочности и жесткости, которые не используются при линейном расчете. Эти запасы тем больше, чем больше прогибы и собственный вес (пролет) конструкции.

Расчет предлагается выполнять методом последовательных приближений и ступенчатой линеаризации. На каждой стадии приближения расчетные параметры могут быть зафиксированы как постоянные и расчет может быть выполнен по линейной схеме. Целью этого расчета является проверка и уточнение ранее принятых расчетных параметров, если они не указаны в задании. После двух (или трех) приближений значения параметров становятся устойчивыми и могут быть найдены окончательные усилия и прогибы.

Сложность расчета подобных конструкций состоит также в том, что при расчетах статически неопределимых систем перемещения здесь не могут быть вычислены по методу Верещагина, так как интегрируемые эпюры изгибающих моментов имеют криволинейное очертание, поэтому для определения перемещений предлагается использовать функции влияния (функции Грина). Это использование удобно еще и потому, что покрытия промышленных зданий рассчитываются на подвижную нагрузку по линиям влияния. Расчет статически неопределимых висячих комбинированных схем подробно освещен в книге [10], поэтому здесь излагаться не будет. Покажем, как воспользоваться приведенными в этой книге таблицами коэффициентов для вычисления ординат линий влияния, а затем по линиям влияния определение усилий и прогибов (Таблицы см. также в [II]).

Для расчета висячих комбинированных систем с помощью таблиц или графиков, приведенных в книге [10] (на стр. 50, 59, 63, 67, 89), вычисляются параметры  $\zeta$  и  $N_0$  (или  $N_1$ ) по формулам (2.3) и (3.7), см. там же пример расчета стр. 43-46. Распор от временной нагрузки при определении  $\zeta$  может быть найден приближенно в предположении, что балка не воспринимает нагрузки, т.е. по формуле (2.1), [10]. При загрузении части пролета распор уменьшается пропорционально длине незагруженного участка и вычисляется новое значение коэффициента  $\zeta$ .

Для получения результатов расчета в некоторый запас прочности или жесткости округление  $\zeta$  до табличных значений следует делать в меньшую сторону, а  $N_0$  или  $N_1$  - в большую. Допускается линейная интерполяция табличных значений.

В примере, приведенном на стр. 43-46, [10] показано, что для расчета системы принимается два загрузения пролета временной

нагрузкой: I) загрузка равномерной нагрузкой всего пролета (в данном случае - снеговой) и сосредоточенными грузами (кранами), расположенными симметрично относительно середины пролета. Такое нагружение делается а) для уточнения максимального распора и подбора сечения кабеля - принимается нагружение всеми кранами, которые находятся в пролете, б) для определения прогибов в середине пролета от нормативной нагрузки - от снеговой и от четырех кранов, и от такой же расчетной нагрузки - для определения изгибающих моментов в середине пролета балки.

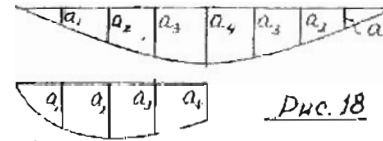
2) Загружение равномерной снеговой нагрузкой половину пролета и четырьмя кранами с расположением максимальных давлений вблизи или в самой четверти пролета - для определения прогибов и изгибающих моментов в четверти пролета соответственно от нормативной и расчетной нагрузок. Данное нагружение, как правило, определяет сечение балки жесткости.

Для расчета на эти загрузки вычисляются предварительные значения коэффициентов деформативности с распором от временной эквивалентной нагрузки:

а) по всему пролету - от максимальной, т.е. от всех кранов и от снега с коэффициентом сочетаний 0,8 б) от четырех кранов в середине пролета и снеговой нагрузки по всему пролету, в) то же - в четверти пролета и снег на половине пролета.

Для определения уточненного распора и прогибов в середине пролета при действии распределенной снеговой нагрузки по всему пролету подсчитываются площади линий влияния по схеме, показанной на рис. 18. (В [11] площади приведены в таблицах).

$$\Omega_{\text{ЛВ}} = \frac{1}{8} (2a_1 + 2a_2 + 2a_3 + a_4), \quad (8)$$



Здесь  $-\frac{l}{8}$  - шаг ординат (основание трапеции), т.к. пролет принят равным единице.

$a_1, a_2, \dots$  - ординаты коэффициентов  $\alpha, \omega$  - линий влияния при  $X=0,5$ , см. Табл. I, 2 и др. [10].

Распоры и прогибы при загрузке половины пролета ( $X = 0,25$ )

$$\Omega_{\text{ЛВ}}(0,25) = \frac{1}{8} (a_1 + a_2 + a_3 + \frac{a_4}{2}), \quad (9)$$

При подсчете по ординатам площадей влияния изгибающих моментов точность формул (8) и (9) недостаточна. Воспользуемся формулой Симпсона. Для нашего случая при загрузке половины пролета получим:

$$\Omega_{\text{ЛВ}}(0,25) = \frac{1}{12} (2a_1 + a_2 + 2a_3 + \frac{a_4}{2}). \quad (9I)$$

$a_1, a_4$  - ординаты линии влияния изгибающих моментов при  $X = 0,25$ .

Для определения момента в середине пролета ординаты принимаются при  $X = 0,5$  и в формуле (9I) результат умножается на два.

Действие сосредоточенных давлений кранов определяется суммированием значений, вычисленных по формуле (3.18 [10]), где величина каждого груза умножается на соответствующую ординату линии влияния под грузом.

Таким образом при одновременном действии распределенной и сосредоточенных нагрузок получим:

$$H_p = A_1 \frac{P_{\text{сн}} l^2}{8f} + \frac{l}{8f} \sum \alpha_j D_j; \quad (10)$$



$$\eta = \Omega_1 \frac{\rho_{сн}^H \ell^H}{EJ} \cdot 10^{-3} + \frac{\rho^3}{EJ} \sum \omega_j D_j^H \cdot 10^{-2}; \quad (11)$$

$$M = \Psi_1 \rho_{сн} \rho^2 \cdot 10^{-4} + \rho \sum m_j D_j \cdot 10^{-4}, \quad (12)$$

где  $A, \Omega, \Psi$  - площади линий влияния, вычисленные по формулам (8) или (9),

$\sum \omega_j D_j, \sum m_j D_j$  - сумма произведений максимальных и минимальных давлений кранов на соответствующие ординаты линий влияния под грузами.  $j$  - число грузов.

### 9. УЧЕТ ПРОСТРАНСТВЕННОСТИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ВИСЯЧЕГО ПОКРЫТИЯ

Выполненный выше расчет проведен в предположении, что каждая плоская поперечная конструкция воспринимает нагрузку независимо от соседних поперечников, что поперечники не связаны в продольном направлении между собой. Такое предположение оправдливо для равномерно распределенных вдоль адажи нагрузок - постоянной, снеговой и ветровой. Однако при расчете на крановую нагрузку, загружающую поперечники неравномерно, можно учесть распределяющее влияние продольных балок, вертикальных связей. Эти элементы распределяют местную нагрузку, разгружая более нагруженные поперечники и передавая нагрузку на менее нагруженные.

Расчет перекрестной системы, в состав которой входят поперечные висячие комбинированные фермы и продольные балки, выполнен на кафедре металлических конструкций ВИСИ М.А. Ландаровым [5]. Теоретическое и экспериментальное исследование показало, что вследствие малой жесткости поперечных конструкций можно в расчет вводить

лишь одну продольную балку - в месте приложения сосредоточенного груза. Влияние соседних незагруженных продольных балок на распределение усилий и на прогибы в расчетном сечении составляет менее 8%. Принималась расчетная схема блока с неразрезной продольной балкой и семью поперечными висячими фермами, имеющими характеристики  $n_1 = \frac{EJ}{E_{сн} J_{сн} \rho^2} = 1 \cdot 10^{-4}$ .

В рассматриваемом блоке расчетной является крайняя поперечная конструкция. Коэффициент  $\gamma$ , приведенный в таблицах показывает, какая часть единичного груза передается на расчетный поперечник в месте опирания на него продольной балки (Таблицы I вычислены М.А. Ландаровым).

Приняты следующие обозначения:

- $Q$  - относительная координата положения груза в продольном направлении (отношение к длине блока). За начало отсчета принят расчетный поперечник,
- $x$  - относительная абсцисса опирания продольной балки на поперечник (отношение к пролету поперечника),
- $B$  - общая длина пространственного блока,
- $\ell$  - пролет поперечной конструкции (поперечника),
- $E_1 J_1$  - жесткость балки висячего комбинированного поперечника,
- $E_2 J_2$  - жесткость продольной связевой балки.

$$\gamma = \frac{B^3}{\ell^3} \frac{E_1 J_1}{E_2 J_2}. \quad (13)$$

Таблица I

Таблица коэффициентов пространственности  $\nu$

| $\alpha \backslash \gamma$ | 0,000  | 0,100  | 0,200  | 0,300  | 0,400  | 0,500  | 0,700  | 1,000  |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $X = 0,125$                |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 0                          | 0,465  | 0,654  | 0,717  | 0,753  | 0,777  | 0,795  | 0,822  | 0,848  |
| 1/6                        | 0,355  | 0,340  | 0,321  | 0,305  | 0,291  | 0,278  | 0,258  | 0,233  |
| 2/6                        | 0,252  | 0,122  | 0,076  | 0,049  | 0,030  | 0,016  | -0,003 | -0,020 |
| 3/6                        | 0,143  | 0,004  | -0,029 | -0,041 | -0,047 | -0,049 | -0,049 | -0,046 |
| 4/6                        | 0,036  | -0,039 | -0,047 | -0,041 | -0,040 | -0,035 | -0,027 | -0,018 |
| 5/6                        | -0,071 | -0,044 | -0,031 | -0,022 | -0,016 | -0,012 | -0,006 | -0,001 |
| I                          | -0,179 | -0,036 | -0,003 | -0,002 | 0,005  | 0,005  | 0,005  | 0,004  |
| $X = 0,250$                |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 0                          | 0,579  | 0,647  | 0,670  | 0,750  | 0,774  | 0,781  | 0,819  | 0,850  |
| 1/6                        | 0,450  | 0,339  | 0,325  | 0,306  | 0,292  | 0,280  | 0,259  | 0,200  |
| 2/6                        | 0,302  | 0,127  | 0,092  | 0,048  | 0,030  | 0,016  | -0,003 | -0,002 |
| 3/6                        | 0,194  | 0,022  | 0,005  | 0,040  | -0,046 | -0,048 | -0,049 | -0,040 |
| 4/6                        | 0,055  | -0,070 | -0,033 | -0,044 | -0,040 | -0,035 | -0,027 | -0,015 |
| 5/6                        | -0,071 | -0,139 | -0,005 | -0,027 | -0,016 | -0,012 | -0,006 | -0,030 |
| I                          | -0,179 | -0,070 | -0,003 | -0,003 | -0,001 | -0,000 | 0,000  | 0,000  |
| $X = 0,375$                |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 0                          | 0,464  | 0,557  | 0,610  | 0,646  | 0,672  | 0,692  | 0,722  | 0,754  |
| 1/6                        | 0,358  | 0,355  | 0,349  | 0,344  | 0,338  | 0,332  | 0,321  | 0,306  |
| 2/6                        | 0,250  | 0,188  | 0,151  | 0,126  | 0,107  | 0,092  | 0,069  | 0,046  |
| 3/6                        | 0,143  | 0,070  | 0,031  | 0,008  | -0,007 | -0,018 | -0,031 | -0,042 |
| 4/6                        | 0,036  | -0,008 | -0,028 | -0,038 | -0,043 | -0,046 | -0,047 | -0,044 |
| 5/6                        | -0,072 | -0,060 | -0,052 | -0,046 | -0,041 | -0,036 | -0,029 | -0,022 |
| I                          | -0,171 | -0,106 | -0,060 | -0,040 | -0,026 | -0,017 | -0,005 | -0,001 |

| $\alpha \backslash \gamma$ | 0,000  | 0,100  | 0,200  | 0,300  | 0,400  | 0,500  | 0,700  | 1,000  |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| $X = 0,500$                |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 0                          | 0,515  | 0,717  | 0,749  | 0,794  | 0,825  | 0,832  | 0,850  | 0,878  |
| 1/6                        | 0,357  | 0,327  | 0,301  | 0,279  | 0,262  | 0,249  | 0,225  | 0,199  |
| 2/6                        | 0,250  | 0,091  | 0,045  | 0,019  | 0,003  | -0,009 | -0,021 | -0,036 |
| 3/6                        | 0,142  | -0,017 | -0,042 | -0,048 | -0,049 | -0,049 | -0,044 | -0,037 |
| 4/6                        | 0,036  | -0,046 | -0,043 | -0,036 | -0,042 | -0,024 | -0,015 | -0,008 |
| 5/6                        | -0,071 | -0,036 | -0,021 | -0,013 | -0,043 | -0,004 | -0,001 | 0,000  |
| I                          | -0,229 | +0,036 | -0,021 | -0,015 | -0,013 | 0,000  | 0,000  | 0,000  |

Расчет висячего покрытия с учетом распределения подвесной краевой нагрузки продольными связями производится в следующей последовательности:

- 1) Выполняется расчет плоской висячей комбинированной схемы.
- 2) Вводятся поправочные коэффициенты  $\nu$ , полученные из таблиц I в зависимости от положения грузов по длине здания и в пролете.

При определении положения груза необходимо различать два варианта конструктивного решения крановых путей - движение кранов непосредственно по нижним полкам балки жесткости (или по связевой балке) и движение по балкам крановых путей, которые подвешиваются к несущим конструкциям в узлах [I4]. В первом случае "X" и "Q" определяется положением крана, во втором - необходимо определить опорные реакции разрезных балок крановых путей и в пространственном расчете учитывать координаты "X" и "Q" концов балок крановых путей.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бабьева И.А. Определение ветровой нагрузки на всячие покрытия параболического очертания. Строительство и архитектура Ленинграда, 1963, № 9.
2. Беленя В.И. и др. Металлические конструкции. М., Стройиздат, 1973.
3. Джатаридзе З.С., Сулаберидзе О.Г. Монтаж и испытание преднапряженной железобетонной всячей оболочки. Бетон и железобетон, 1966, №8.
4. Дубинский А.М., Шимановский В.Н. Всячие покрытия промышленных зданий с прямоугольным планом. Промышленное строительство и инженерные сооружения, 1964, № 3.
5. Хандаров М.А. Расчет пространственного всячего покрытия промышленного здания с подвесными кранами. Сб. трудов "Вопросы проектирования всячих комбинированных конструкций" вып.2, изд. ВГУ, Воронеж, 1973, вып. 3, 1975.
6. Качурин В.К. и др. Проектирование всячих и вантовых мостов. Транспорт, 1971.
7. Киреевко В.И. и др. Всячие покрытия зданий предприятий легкой промышленности. Сб. трудов Строительные конструкции, вып. XI, Киев, Будивельник, 1969.
8. Кирсанов Н.М. Всячие конструкции, Стройиздат, 1968.
9. Кирсанов Н.М. Альбом конструкций всячих покрытий. Высшая школа, 1965.
10. Кирсанов Н.М. Всячие системы повышенной жесткости, Стройиздат, 1973.
11. Кирсанов Н.М. Расчет всячих комбинированных систем по линиям влияния с учетом прогибов. Издательство ВГУ, Воронеж (готовится к печати).

12. Косенко Я.С. Всячие конструкции покрытий. Зарубежный опыт. Стройиздат, 1966.
13. Лейбфрейд В.М. Вантовые крыши. Строительная промышленность, 1930, № 8; 1932, № 6.
14. Ложкин Б.П., Смирлянский Г.М. Конструкции путей подвешенного промышленного транспорта. Стройиздат, 1968.
15. Мельников Н.П. Пути прогресса в области металлических конструкций, Стройиздат, 1974.
16. Мерлица М.Д. Здание с подвесным покрытием. Промышленное строительство и инженерные сооружения, 1966, № 3.
17. Назаренко Н.Г. К расчету горизонтальной жесткости внешне безраспорных всячих покрытий. Вопросы проектирования всячих комбинированных конструкций, вып. 3, Издательство ВГУ, 1975.
18. Немчинов Б.К. Некоторые вопросы оптимального проектирования нитей конечной жесткости. Сб. трудов "Вопросы проектирования всячих комбинированных конструкций" вып. 2 Издательство ВГУ, Воронеж, 1973.
19. Нявифоров В.Ф. Расчет всячих комбинированных систем со стабилизирующими элементами. Строительная механика и расчет сооружений, 1972, № 3.
20. Рекомендации по проектированию всячих конструкций ЦНИИСК М., 1974.
21. Руководство по проектированию всячих и вантовых стальных конструкций линейно-протяженного типа ЦНИИПроектстальконструкция, 1974.
22. Смирнов В.А. Всячие мосты больших пролетов. Высшая школа, 1975.
23. Стальные конструкции, Справочник конструктора, Стройиздат, 1972.

О Г Л А В Л Е Н И Е

24. Стрелецкий Н.Н. Решетчатые комбинированные системы мостов. Дориздат, 1953.
25. Стрелецкий Н.С. Новые идеи и возможности в металлических промышленных конструкциях. Госстройиздат, 1934, Избранные труды, Стройиздат, 1975.
26. Стрелецкий Н.С. и др. Металлические конструкции. Специальный курс. М., Стройиздат, 1965.
27. Гарановская М.В., Морозов А.П. Дворец спорта "Юбилейный" Л. Стройиздат, 1973.
28. Технические условия проектирования железнодорожных, автодорожных и городских мостов и труб (СН 200-62). Трансжелдориздат, 1962.
29. Уинг Ц. Строительство крупного цеха для сборки самолетов Боинг-747. Гражданское строительство (перевод с англ.) 1968, № 9.
30. Указания по определению нагрузок от подвесных кранов, СН 355-66.
31. Чаплин С.А. Висячие мосты. Дориздат, 1949.
32. A L'aéroport de Francfort. La Construction moderne, 1972, N 1.

|  | Стр. |
|--|------|
| 1. Введение. Примеры висячих покрытий с подвесными кранами                                 | 2    |
| 2. Области рационального применения висячих покрытий для производственных зданий           | 6    |
| 3. Анкерные конструкции висячих покрытий промышленных зданий                               | 10   |
| 4. Способы обеспечения жесткости висячих конструкций                                       | 15   |
| 5. Нормы проектирования висячих покрытий промышленных зданий с подвесными кранами          | 20   |
| 6. Компоновка несущих элементов висячих комбинированных покрытий                           | 21   |
| 7. Сбор нагрузок на поперечную конструкцию и предварительное определение сечений элементов | 24   |
| 8. Расчет несущих элементов висячих покрытий промышленных зданий                           | 28   |
| 9. Учет пространственности несущих конструкций висячего покрытия                           | 32   |
| Литература   | 36   |