



УДК 624.014

Агафонкин В.С. – кандидат технических наук, профессор

E-mail: agafonkin@kgasu.ru

Моисеев М.В. – кандидат технических наук, старший преподаватель

E-mail: MMoi76@rambler.ru

Исаева Л.А. – кандидат технических наук, доцент

Дымолазов М.А. – старший преподаватель

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

УСИЛЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЗЛОВЫМ РЕШЕНИЕМ «МЕРО-МАРХИ»

АННОТАЦИЯ

Большое количество структурных конструкций эксплуатируются достаточно долгий срок. За это время происходили изменения в нормативной базе, уточнялись снеговые нагрузки, сами конструкции могли получить различные повреждения. Данные обстоятельства приводят к тому, что структурные конструкции перестают удовлетворять современным требованиям по несущей способности. Для возможности дальнейшей эксплуатации такие конструкции необходимо усилить. В данной статье представлены способы усиления структурных конструкций.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: структурные конструкции, пространственные конструкции, усиление.

Agafonkin V.S. – candidate of technical sciences, professor

Moiseev M.V. – candidate of technical sciences, senior lecturer

Isaeva L.A. – candidate of technical sciences, associate professor

Dymolazov M.A. – senior lecturer

Kazan State University of Architecture and Engineering

STRENGTHENING STRUCTURAL CONSTRUCTIONS WITH «MERO-MARCHI» NODAL SOLUTION

ABSTRACT

A large number of space structures, such as the double layer grids, are used long enough. During this time the structures have received different damage and defects. Except this, the code of design had changed, for example, the snow loads were increased. These conditions lead to the fact that the space structural didn't correspond modern requirements on the bearing capacity. To allow further using of these constructions they must be strengthened. This article presents ways to strengthen the space structures, such as the double layer grids.

KEYWORDS: structural construction, space structure, double layer grid, strengthening.

Структурные конструкции относятся к пространственным конструкциям, в основе которых лежит узловое решение, позволяющее объединить стержни, лежащие в разных плоскостях. Одним из наиболее распространенных узловых решений является узел типа «Меро-МАРХИ». На основе этого узла разработан сортамент труб, позволяющий изготавливать структурные конструкции с ячейкой 1.5x1.5, 2x2, 3x3 метра разной формы в плане, типовые серии структурных плит типа «Кисловодск» и их различные модификации [1-3].

Большое количество таких структурных конструкций эксплуатируются достаточно долгое время. За этот срок произошли изменения в нормативной базе, особенно в части изменения снеговых нагрузок. Так, для города Казани вес снегового покрова в период с 1962 до 2011 года изменился с 100 до 168 кг/м². Кроме того, сами конструкции получают различные повреждения при эксплуатации, которые влияют на их действительную работу. Это приводит к тому, что структурные конструкции, имеющие долгий срок эксплуатации, могут не удовлетворять современным требованиям по несущей способности и требуют усиления.

Целью данной работы являлось исследование действительного состояния структурных конструкций с длительным сроком эксплуатации, выявление характерных дефектов, оценка технического состояния и разработка эффективных способов усиления.

Были проведены натурные обследования структурных конструкций следующих объектов: две структурные конструкции размером 30х30 м с ячейкой 2х2 м покрытия здания «Мерседес-Бенц Сервиса» в г. Казани, две структурные конструкции размером 27х27 м с ячейкой 3х3 м покрытия корпуса Буинского спиртзавода, структурная конструкция размером 30х30 м с ячейкой 3х3 м покрытия здания фирмы «Агава» в г.Казани. Проведенные натурные обследования выявили характерные дефекты и повреждения, возникающие на стадиях изготовления, монтажа и эксплуатации. Наиболее часто встречаемыми дефектами являются зазоры между стержнями и узловым элементом, общие и местные деформации стержней, люфт стержней, отсутствие стержней или установка их не в проектное положение в конструкции. Гистограмма распределения характерных дефектов представлены на рис. 1.

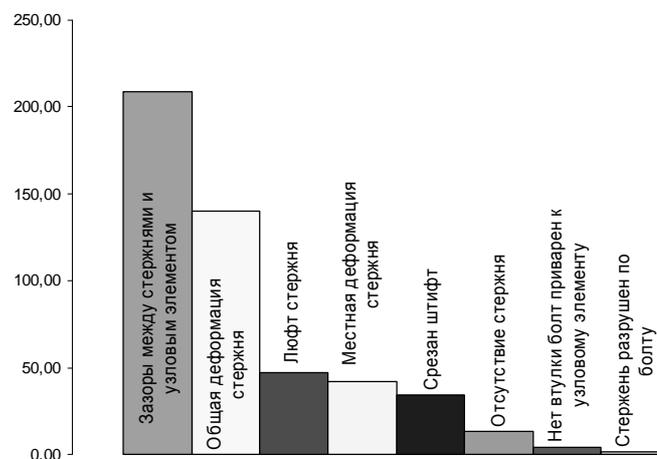


Рис. 1. Гистограмма распределения дефектов в структурных плитах

Указанные дефекты влияют на работу структурной конструкции. Конструктивная особенность узла «Меро-МАРХИ» не позволяет сжатым стержням, имеющим зазоры между стержнем и узловыми элементами, включиться в работу до того, пока зазор не будет выбран полностью. Люфт стержня свидетельствует о наличии зазора между головкой болта и вкладышем стержня. Такой тип дефекта не позволяет включиться в работу растянутым стержням, пока зазор не выберется и стержень не натянется. Несущая способность стержней, имеющих общую деформацию, также ограничена. Таким образом, усилия со стержней с дефектами перераспределяются на соседние стержни.

Очень часто оказывается, что положение стержней в конструкции перепутано при сборке, и более слабые стержни оказываются на месте, где должны стоять стержни большего сечения.

Расчет структурных конструкций с учетом дефектов показывает, что большое число стержней (до 12 %) могут быть перегруженными и требуют усиления. Усиление выполняется следующим образом.

Усиление отдельных стержней и узлов. При таком способе усиления приходится усилить каждый стержень и узел по отдельности. Усилению подлежат перегруженные стержни, стержни с дефектами, узлы. Конструктивное решение усиления структурной конструкции таким способом представлено на рис. 2.

Такой способ усиления достаточно трудоемкий. Усиление приходится выполнять в стесненных условиях. Кроме того, при усилении в существующих элементах, как правило, действуют напряжения от постоянной нагрузки. Это приводит к тому, что элементы усиления включаются в работу только при приложении временной нагрузки.

Усиление путем подведения дополнительных опор. Этот способ является более технологичным. Дополнительные опоры устанавливаются в определенных узлы конструкции, лежащие, как правило, по линии транзита наибольших усилий. Данный вид усиления позволяет эффективно включить

дополнительную опору в работу и осуществляется при помощи создания преднапряжения введением регулируемых зазоров. Вариант такого усиления представлен на рис. 3.

Создание преднапряжения позволяет воспринимать конструкцией усиления не только временные нагрузки, но и постоянные.

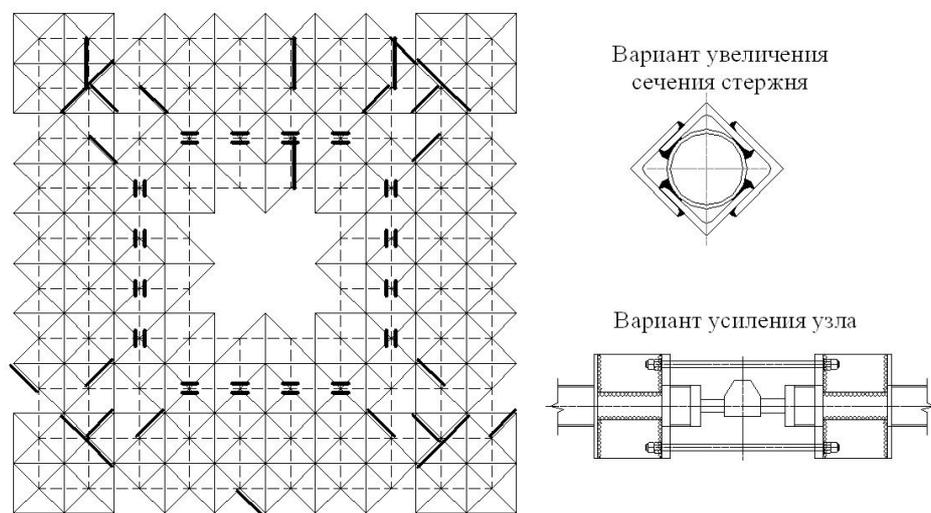


Рис. 2. Усиление структурной конструкции путем усиления отдельных стержней и узлов на примере усиления покрытия здания фирмы «Агава», г. Казань

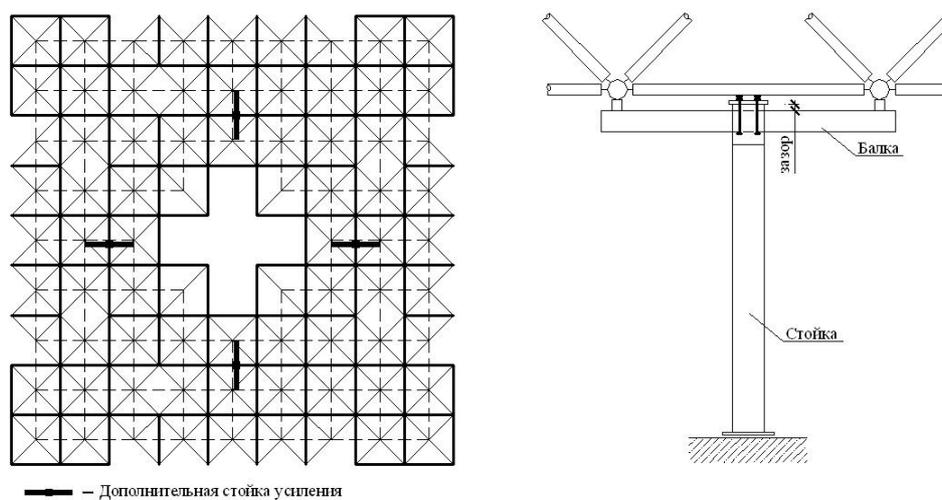


Рис. 3. Усиление структурной конструкции путем подведения дополнительных опор на примере усиления покрытия корпуса Буинского спиртзавода, г. Буинск

Конструкция усиления состоит из четырех стоек, на которые сверху установлены балки. На каждую балку по концам оперты два узла нижнего пояса структурного покрытия. Балка со стойкой соединена с помощью подвесного устройства (опорная рамка с двумя болтами), позволяющего выполнять преднапряжение при усилении. Предварительное напряжение создается замыканием зазора между верхней пластиной опорной рамки и балкой при затяжке болтов после сборки конструкций и удаления двух прокладок.

Между конструкцией усиления и структурным модулем имеются усилия взаимодействия N , которые складываются из усилий самонапряжения и преднапряжения

$$N = N_c + N_n, \tag{1}$$

где N_c – усилие самонапряжения, N_n – усилие преднапряжения.

Нахождение усилий взаимодействия N является многовариантной задачей оптимального программирования, которая может быть решена из условия минимума веса конструкций усиления.

Функция цели по критерию минимума веса запишется в общем виде

$$G = 4n \left[\left(\frac{l_1^2}{4a_1^2 h R_y g_c} + \frac{2l_2}{R_y g_c} \right) N + b (m_2)^2 l_2 \right] \rightarrow \min, \quad (2)$$

где G – теоретический вес конструкций усиления, N – усилие взаимодействия, являющееся неизвестным в функции цели, n – объемный вес стали, a_1 – коэффициент, зависящий от формы сечения балки, высота балки ($h=1/4 l_1$), l_1 – длина балки, R_y – расчетное сопротивление стали, g_c – коэффициент условий работы, l_2 – длина стойки, b – коэффициент формы сечения стойки, m – коэффициент расчетной длины, l_2 – длина стойки.

Необходимым условием является снижение усилий в перегруженных стержнях (во всех стержнях или в группе стержней) до уровня, не превышающего предельного значения по несущей способности. Данные условия будут являться линейными ограничениями в задаче линейного математического программирования

$$N_{yj} = N_{pj} \pm \sum_{i=1}^n \bar{N}_{ji} N_i \leq [N]_j, \quad (3)$$

где N_{yj} – усилие в j -ом стержне после усиления структурной конструкции,

N_{pj} – усилие в j -ом стержне до усиления структурной конструкции,

N_i – усилие взаимодействия в i -ом узле,

\bar{N}_{ji} – усилие в j -ом стержне при $N_i=1$,

$[N]_j$ – несущая способность j -го стержня структурной конструкции.

При усилении структурных конструкций корпуса Буинского спиртзавода были просчитаны несколько вариантов размещения стоек под различными узлами конструкций и принят оптимальный вариант, представленный на рис. 3. Расчетом определено оптимальное значение усилия взаимодействия конструкций усиления и структуры для оптимального варианта, которое составило $N = 60$ кН.

Недостатком такого способа усиления является то, что дополнительные стойки уменьшают полезную площадь, кроме того, иногда остаются стержни, требующие дополнительного усиления.

Усиление при помощи дополнительных ферм. Такой способ наиболее эффективен. Данный способ заключается в подведении дополнительных стальных ферм, при помощи которых создается дополнительный опорный контур для узлов структурной конструкции. Опорами данных ферм служат существующие колонны, а сами фермы находятся в пространстве между раскосами структурной конструкции.

Фермы усиления также включаются в работу путем создания преднапряжения введением регулируемых зазоров. Зазоры устраиваются между узлами ферм усиления и структурной конструкцией. Рассчитанные зазоры выставляются при монтаже и замыкаются после монтажа и закреплении ферм усиления. Контроль величины преднапряжения осуществлялся толщиной устанавливаемых прокладочных шайб при сборке. После монтажа и закреплении ферм прокладочные шайбы демонтируются, а возникающие при этом зазоры замыкаются, создавая преднапряжение. Для наиболее полного включения в работу ферм усиления преднапряжение должно осуществляться в летний период при максимально снятой нагрузке.

Величину преднапряжения можно определить из равенства (1), зная усилия взаимодействия и самонапряжения. Усилия самонапряжения находятся из условия совместности деформаций дополнительных ферм усиления и структурной конструкции от нагрузки, прикладываемой после усиления. Усилия взаимодействия можно определить так же, как и во втором способе, из условия минимизации массы конструкции усиления.

Функцию цели по критерию минимума массы дополнительных ферм усиления в этом случае можно записать в виде

$$G = n \sum \frac{\bar{N}_j^\phi N_i}{R_y g_c} l_i \rightarrow \min, \quad (4)$$

здесь N_i – усилия взаимодействия в связях структурной конструкции и фермами усиления

\bar{N}_{ji}^{ϕ} – усилие в j -ом стержне фермы усиления при $N_i = 1$.

Ограничениями функции цели могут являться условия (3), в которых усилия в стержнях структурной конструкции ограничены их несущей способностью. Кроме этого, ограничениями функции цели могут быть конструктивные требования по допустимым площадям поперечных сечений стержней ферм усиления $[A^{\phi}]$

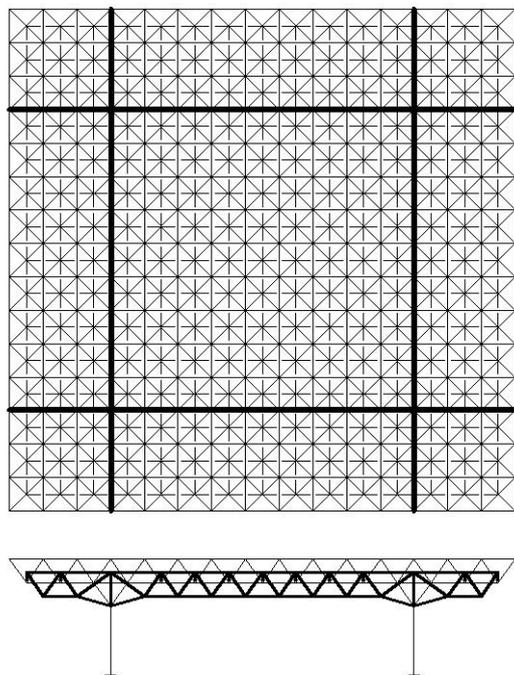


Рис. 4. Усиление структурной конструкции путем подведения дополнительных опор на примере усиления покрытия здания Мерседес-Бенц Сервис, г. Казань

Таким образом, структурные конструкции с длительным сроком эксплуатации имеют различные дефекты и повреждения и требуют оценки их действительного состояния. При необеспечении несущей способности структурных конструкций необходимо выполнение их усиления. Наиболее эффективными являются способы усиления путем подведения дополнительных опор и ферм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рекомендации по проектированию структурных конструкций./ ЦНИИСК им. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1984. – 304 с.
2. Файбишенко В.К. Перекрестно-стержневые пространственные конструкции типа МArchI.// Проспект ВДНХ. – М: Мосоргспецстрой, 1972.
3. Пространственные решетчатые конструкции из труб типа «Кисловодск»: Рабочие чертежи. Серия 1.466-2// ВГПКИ Гипромонтажиндустрия. – М., 1973.

REFERENCES

1. Recommendations for the design of structural constructions./ CNIISK after Kucherenko. – M.: STROIIZDAT, 1984. – 304 p.
2. Faybishenko V.K. Cross-rod space structures such as MArchI. / Prospectus VDNH. – M: Mosorgspetsstroy, 1972.
3. Space grid structures from the tubes by the type «Kislovodsk»: Working drawings. Series 1.466-2// VGPKI Gipromontazhindustriya. – M., 1973.