

**ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И УСИЛЕНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ
КОНСТРУКЦИЙ ПУТЕМ УСТРОЙСТВА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОПОР ПО
ТРЕБОВАНИЯМ СП «ОБСЛЕДОВАНИЕ И УСИЛЕНИЕ БЕТОННЫХ И
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ»**

Д. Н. ЛАЗОВСКИЙ¹, В. В. ТУР²

¹ д.т.н., профессор, профессор кафедры строительных конструкций
Полоцкий государственный университет
г. Новополоцк, Республика Беларусь,

² д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технологии бетона и строительных материалов
Брестский государственный технический университет
г. Брест, Республика Беларусь

Аннотация. В статье представлены предложения по оценке технического состояния существующих бетонных и железобетонных конструкций, классификации способов их усиления, а также по проектированию их усиления путем устройства дополнительных жестких и упругих опор для реформирования Национального комплекса технических нормативных правовых актов в области архитектуры и строительства и строительных правил с целью упорядочения требований технических нормативных правовых актов в области архитектуры и строительства согласно Указу Президента Республики Беларусь «О строительных нормах и правилах» от 05.06.2019 г. № 217.

Ключевые слова: бетонные и железобетонные конструкции, оценка технического состояния конструкций, классификация способов усиления, вероятная схема разрушения конструкции, дополнительная опора, жесткая опора, упругая опора, опорный хомут.

**STRENGTHENING OF EXISTING STRUCTURES BY DEVICE ADDITIONAL SUPPORTS
ON REQUIREMENTS JV "SURVEY AND STRENGTHENING CONCRETE AND
REINFORCED CONCRETE STRUCTURES"**

D. N. LAZOVSKY¹, V. V. TUR²

¹ Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Building Structures
Polotsk State University

Novopolotsk, Republic of Belarus,

² Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technology of Concrete and
Building Materials

Brest State Technical University

Brest, Republic of Belarus

Abstract. The article presents proposals for assessing the technical condition of existing concrete and reinforced concrete structures, classifying ways to strengthen them, as well as designing their strengthening by installing additional rigid and elastic supports to reform the National Complex of Technical Regulatory Legal Acts in the field of architecture and construction. regulations and building regulations in order to streamline the requirements of technical regulatory legal acts in the field of architecture and construction in accordance with the Decree of the President of the Republic of Belarus “On Building Regulations and Rules” dated 06/05/2019 No. 217.

Keywords: concrete and reinforced concrete structures, assessment of the technical condition of structures, classification of strengthening methods, probable pattern of structural failure, additional support, rigid support, elastic support, support collar.

Введение.

При проектировании усиления бетонных и железобетонных конструкций требования безопасности, эксплуатационной пригодности, долговечности и живучести усиленных конструкций обеспечиваются:

- соответствующим выбором материалов (требования к бетону и арматуре, материалам отдельных элементов усиления);
- проверкой предельных состояний с учетом оценки технического состояния и конструированием усиления;
- осуществлением контроля при проектировании, выполнении усиления и эксплуатации усиленных конструкций.

При проектировании усиления конструкций соблюдение названных требований обеспечивается при условии выполнения:

- проверок предельных состояний с учетом оценки технического состояния усиливаемой конструкции и фактических свойств бетона и арматуры по методу частных коэффициентов при постоянных, переходных, особых расчетных ситуациях [1];
- назначения численных значений воздействий, включая нагрузки при выполнении усиления, согласно действующим нормативным документам;
- правил составления эффектов воздействий [1] (нагрузки при выполнении усиления рассматриваются как отдельное переменное воздействие);
- соответствия расчетных моделей сопротивления усиленных конструкций предъявляемым требованиям.

Общие требования проверок предельных состояний усиленных конструкций.

Аналогично оценке надежности существующих конструкций применяются расчетные модели усиленных конструкций, основанные на полностью вероятностном моделировании с учетом фактических распределений базисных переменных, полученных при оценке технического состояния усиливаемой конструкции, и коэффициентов вариации базисных переменных элементов усиления.

Проверку предельного состояния в переходных расчетных ситуациях при усилении бетонных и железобетонных конструкций осуществляют:

- при выполнении отдельных этапов усиления конструкций;
- при распалубке элементов усиления из монолитного бетона, транспортировании и монтаже отдельных элементов усиления конструкций;
- при передаче усилия предварительного напряжения в случае применения предварительно напряженной арматуры или элементов усиления;
- до набора проектной прочности монолитным бетоном при усилении конструкций.

При проектировании усиления конструкций монолитным бетоном учитывают длительные (реологические) эффекты, зависящие от продолжительности воздействий, включая релаксацию напряжений арматурной стали элементов усиления, усадку, расширение (при использовании напрягающего бетона) и ползучесть монолитного бетона [2; 3]. Эффекты воздействий, являющиеся результатом ограничения вынужденных деформаций (вызванные, например, усадкой, расширением и ползучестью бетона усиления, неравномерными осадками опор и т. д.) определяют количественно и включают в соответствующие сочетания воздействий при проверке предельных состояний эксплуатационной пригодности.

Проверка предельного состояния эксплуатационной пригодности усиленной конструкции включает:

- проверку ширины раскрытия трещин;
- проверку деформаций (прогибов и перемещений);
- проверку ограничения напряжений.

При проверке предельного состояния эксплуатационной пригодности учитывают начальное напряженно-деформированное состояние усиливаемой конструкции, принимают средние значения модулей упругости и характеристические значения прочности материалов.

Проверку ширины раскрытия трещин (прогибов) в усиленной конструкции производят из условия, согласно которому ширина раскрытия трещин в конструкции, вызванная расчетными воздействиями (эффектами воздействий) и их сочетаниями с учетом начального напряженно-деформированного состояния, не превышает предельных значений в зависимости от требований, предъявляемых к конструкции, условий ее эксплуатации и характеристик свойств материалов с учетом особенностей коррозионного поведения арматуры усиливаемой конструкции и дополнительной арматуры усиления. При проверке ширины раскрытия трещин (прогибов) усиленных железобетонных конструкций учитывают начальное значение ширины раскрытия тре-

щин конструкции при усилении (если наличие трещин (прогибов) установлено фактически при обследовании или расчетным путем).

Учет повреждений существующих конструкций.

Аналитический расчет бетонных и железобетонных конструкций при местном разрушении бетона усиливаемой конструкции производят при фактических геометрических размерах ее поперечного сечения (за исключением разрушенного участка).

В расчете изгибаемых железобетонных элементов таврового и двутаврового поперечного сечения при наличии в месте сопряжения полки и ребра силовых продольных трещин, пересекающих полку, площадь сечения бетона и арматуры свесов полки не учитывают. В случае увеличения толщины полки наращиванием монолитным бетоном с обеспечением совместной работы с ребром и полкой усиливаемой конструкции при сдвиге вдоль ребра в расчете допускается учитывать площадь сечения свесов полки. При наличии в изгибаемых железобетонных элементах таврового и двутаврового поперечного сечения в месте сопряжения полки и ребра силовых продольных трещин, пересекающих ребро, площадь сечения бетона и арматуры полки не учитывают в расчете.

При повреждении арматуры коррозией, обрыве части стержней арматуры аналитический расчет производят с учетом фактического уменьшения сечения или отсутствия части арматуры существующего железобетонного элемента. Пораженные коррозией на 50 % и более площади сечения арматурные стержни, арматуру из высокопрочной проволоки при наличии в ней язвенной или питтинговой коррозии, а также при наличии коррозии, вызванной хлоридами, в расчете не учитываются.

В случае повреждения поперечной арматуры (или мест ее сварки), закрепляющей продольные сжатые стержни от их бокового выпучивания в любом направлении, и увеличении расстояния между хомутами более допустимого [2], а также при потере сцепления с бетоном продольные сжатые стержни в расчете не учитывают. Аналогично, при нарушении анкеровки (сварки, охвата продольной арматуры) поперечной арматуры, предусмотренной для восприятия поперечных сил, данные стержни поперечной арматуры в расчете также не учитываются.

При нарушении сцепления с бетоном отдельных стержней рабочей арматуры в растянутой зоне на участке по длине элемента (откол защитного слоя, коррозия арматуры), при обеспеченной анкеровке по торцам, железобетонный элемент рассматривают как статически неопределимую комбинированную систему, состоящую из железобетонного элемента и арматуры с нарушенным сцеплением [4; 5].

Способы усиления конструкций.

Усиление бетонных и железобетонных конструкций с целью обеспечения несущей способности, эксплуатационной пригодности и живучести производится изменением параметров самой конструкции путем увеличения поперечного сечения бетона и арматуры или изменением условий ее статической работы при внешних воздействиях (рис. 1).

Усиление бетонных и железобетонных конструкций производят путем увеличения поперечного сечения исходя из *вероятной схемы разрушения конструкций*, установленной в результате аналитических расчетов усиливаемых конструкций, в растянутой зоне, в сжатой зоне, на восприятие поперечной силы и крутящего момента. В случае возможного разрушения конструкций по двум и более зонам, а также при невозможности достижения требуемой степени повышения несущей способности путем усиления только одной зоны следует применять комбинированное усиление (двух и более зон) конструкций.

Усиление конструкций путем изменения их первоначальной расчетной схемы производят посредством:

- изменения места передачи нагрузок на конструкцию;
- повышением степени внешней статической неопределимости с устройством дополнительных жестких и упругих опор, установкой дополнительных связей при обеспечении неразрезности и пространственной работы конструкций;
- повышения степени внутренней статической неопределимости с устройством затяжек, шарнирно-стержневых цепей, распорок.



Рисунок 1 – Способы усиления бетонных и железобетонных конструкций

Если усиление железобетонных конструкций производят под нагрузкой, следует выполнять предварительное напряжение дополнительных элементов или связей (подклинивать дополнительные опоры, предварительно растягивать затяжки, сжимать распорки).

Усиление дополнительными жесткими опорами.

Дополнительные жесткие опоры выполняют железобетонными или стальными в виде стоек, подкосов, подвесок и т. д., опирающихся на конструкции или самостоятельные фундаменты (рис. 2).

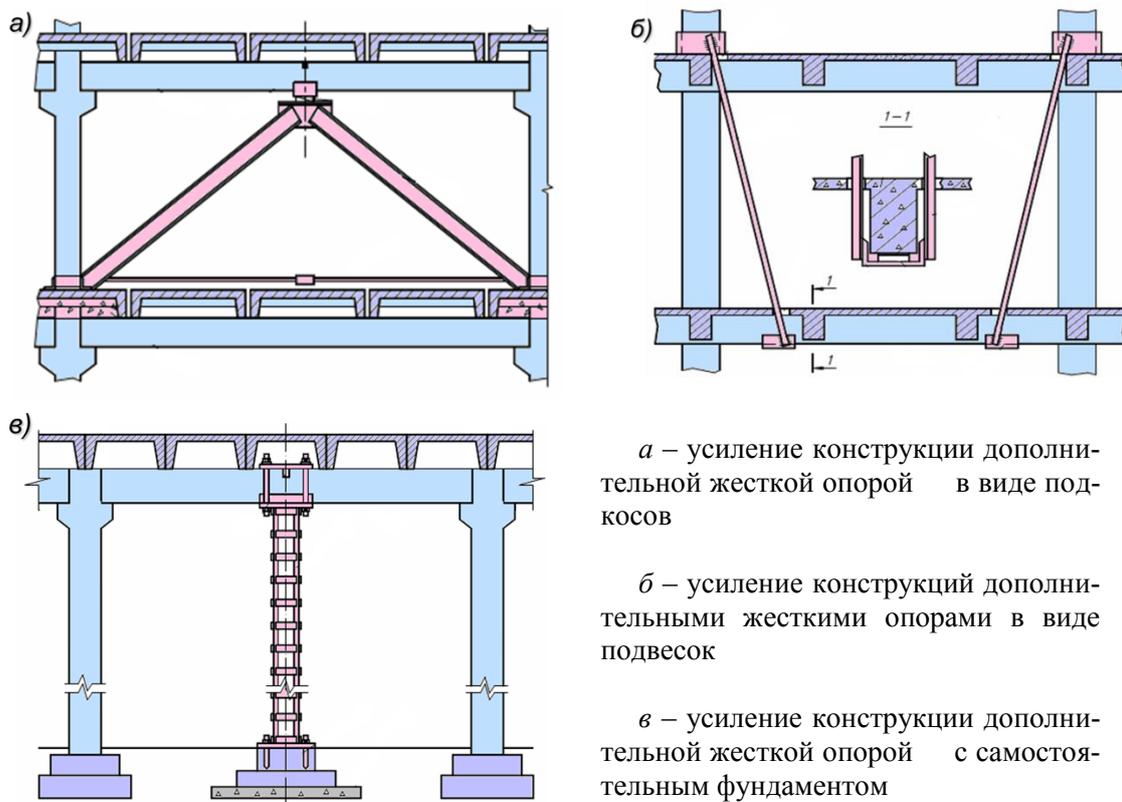


Рисунок 2 – Усиление железобетонных конструкций дополнительными жесткими опорами

При устройстве дополнительных жестких опор с опиранием на самостоятельные фундаменты следует учитывать, что основание под подошвой существующих фундаментов в период эксплуатации уплотнено, по сравнению с грунтом под подошвой нового фундамента.

При устройстве дополнительных жестких опор в виде подкосов и подвесок нагрузку передают на существующие фундаменты или колонны. При этом производят проверку фундамента и его основания при дополнительном воздействии опорной реакции от подкосов. При передаче нагрузки от дополнительных подкосов на колонны для восприятия возникающего распора устраивают затяжки.

Для включения дополнительных жестких опор в совместную работу при условии отсутствия переменной нагрузки производят подклинивание конструкций набором стальных пластин с помощью домкратов и клиньев.

При отсутствии верхней арматуры над дополнительной опорой или площади ее поперечного сечения менее минимального значения в соответствии с СП 5.03.01 (п. 9.2.2) [2], конструкцию после образования трещин считают разрезной. В данном случае устраивают уширение опирания для усиливаемой конструкции на дополнительную опору, учитывающее возможное отклонение в развитии трещин, или формируют магистральное направление трещины путем поперечного надреза конструкции сверху по оси дополнительной опоры глубиной, равной меньшему из значений: толщины защитного слоя надопорной арматуры или 50 мм, с последующим заполнением образовавшегося зазора податливым гидроизоляционным материалом.

Для исключения появления дополнительных крутящих моментов в усиленной конструкции оси дополнительных опор в месте контакта с усиливаемой конструкцией должны находиться в одной плоскости с ее продольной осью.

Устройство дополнительных жестких опор повышает степень статической неопределимости усиливаемых конструкций и, соответственно, изменяет их расчетную схему для определения в них внутренних усилий. Распределение внутренних усилий в статически неопределимых конструкциях определяется распределением их жесткостей в поперечных сечениях по длине конструкции. При усилении дополнительными опорами конструкций, находящихся под нагрузкой, их жесткости в поперечных сечениях по длине могут быть снижены из-за наличия трещин и проявления пластических свойств рабочей арматуры. Теоретически верно учитывать изменение жесткостей по длине усиливаемой конструкции, которое происходит под нагрузкой при первоначальной расчетной схеме, в расчете по измененной расчетной схеме после усиления. Это дает точные результаты [7; 8], но усложняет расчет.

При расчете конструкций, усиленных дополнительными жесткими опорами, изгибающие моменты в поперечных сечениях усиленной конструкции, вычисленные по упругой схеме, допускается суммировать от нагрузки, действующей до усиления при первоначальной расчетной схеме, и от нагрузки, приложенной к конструкции после усиления при измененной расчетной схеме. Считаем это допустимым при отсутствии трещин в усиливаемой конструкции в момент времени усиления в зонах с увеличивающимся изгибающим моментом при измененной расчетной схеме. Суммарная эпюра изгибающих моментов от расчетных воздействий не должна выходить за пределы эпюры материалов, характеризующей расчетную несущую способность усиленной конструкции с учетом возможного перераспределения усилий.

При проектировании усиления конструкций дополнительными жесткими опорами производят проверку прочности усиливаемой конструкции при действии увеличивающихся поперечных сил в местах установки дополнительных опор.

Расчет железобетонных и стальных жестких опор (стоек, подкосов, подвесок и др.) производят по правилам СП 5.03.01 [2] и СП 5.04.01 [6] соответственно на воздействия после усиления.

Пример результатов расчета шарнирно опертой балки, усиленной под нагрузкой дополнительной жесткой опорой в середине пролета, приведена на рис. 3.

Усиление дополнительными упругими опорами.

Дополнительные упругие опоры создают с помощью изгибаемых стальных или железобетонных элементов, расположенных со стороны верхней, нижней или боковых граней усиливаемой конструкции и опирающихся на другие конструкции или самостоятельные опоры (рис. 4, а). Нагрузка от усиливаемой конструкции передается через расклинивающие прокладки, позволяющие включить дополнительные упругие опоры в совместную работу с конструкцией.

Для усиления изгибаемых большепролетных конструкций многопролетных зданий дополнительные упругие опоры могут выполняться в виде двухконсольных кронштейнов. Двухкон-

сольные кронштейны выполняют с помощью прокатных профилей, опирающихся на оголовки колонн, или с помощью треугольных ферм. Высоту опорной части кронштейнов принимают равной высоте опорных частей усиливаемых балок. Длина вылета консолей не должна превышать $1/6-1/4$ пролета усиливаемой конструкции (рис. 4, б).

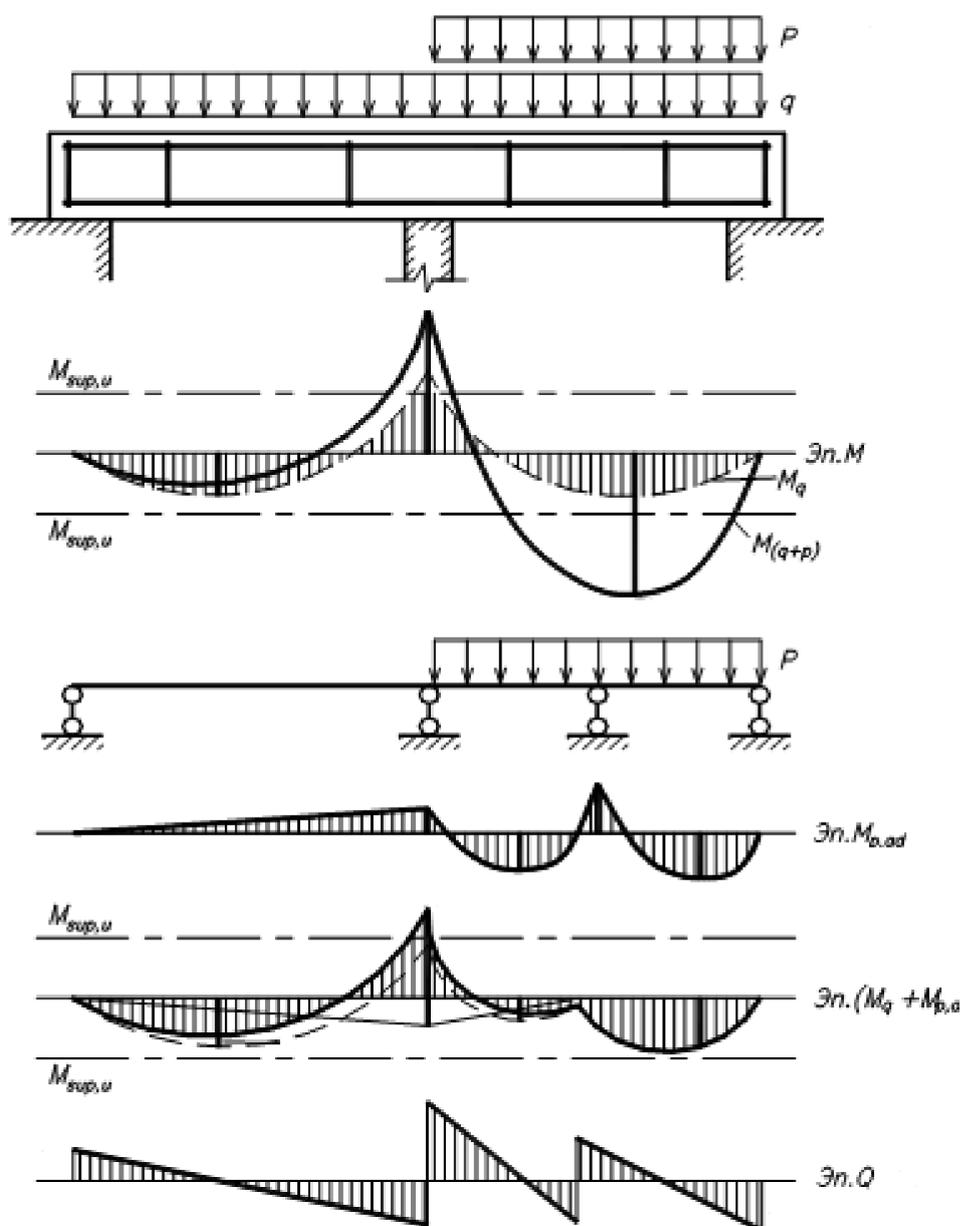


Рисунок 3 – Пример результатов расчета шарнирно опертой балки, усиленной под нагрузкой дополнительной жесткой опорой в середине пролета

Для опирания элементов дополнительных опор на существующие колонны на последних устраивают специальные опорные хомуты. Опорные хомуты выполняют железобетонными или стальными с последующим обетонированием или покрытием антикоррозионными составами [5]. Железобетонные опорные хомуты армируют наклонной или замкнутой горизонтальной арматурой, размещаемой в подготовленных пазах глубиной, равной толщине защитного слоя. Поперечная арматура хомутов соединяется сваркой с оголенной продольной арматурой колонн. Стальные опорные хомуты выполняют из прокатных профилей, которые размещают в подготовленных пазах и приваривают к продольной арматуре колонн.

Устройство дополнительных упругих опор, аналогично с жесткими опорами, повышает степень статической неопределенности усиливаемых конструкций и, соответственно, изменяет их

расчетную схему для определения в них внутренних усилий. Расчет железобетонных конструкций, усиленных дополнительными упругими опорами, допускается производить на действие изгибающих моментов, определенных суммированием моментов, вычисленных по упругой схеме, от нагрузки, действующей до усиления при первоначальной расчетной схеме, и от нагрузки, приложенной к конструкции после усиления при измененной расчетной схеме с учетом упругих деформаций дополнительных опор. Статический расчет конструкций, усиленных дополнительными упругими опорами, производят из условия равенства прогибов усиливаемой конструкции и упругой опоры в месте их контакта.

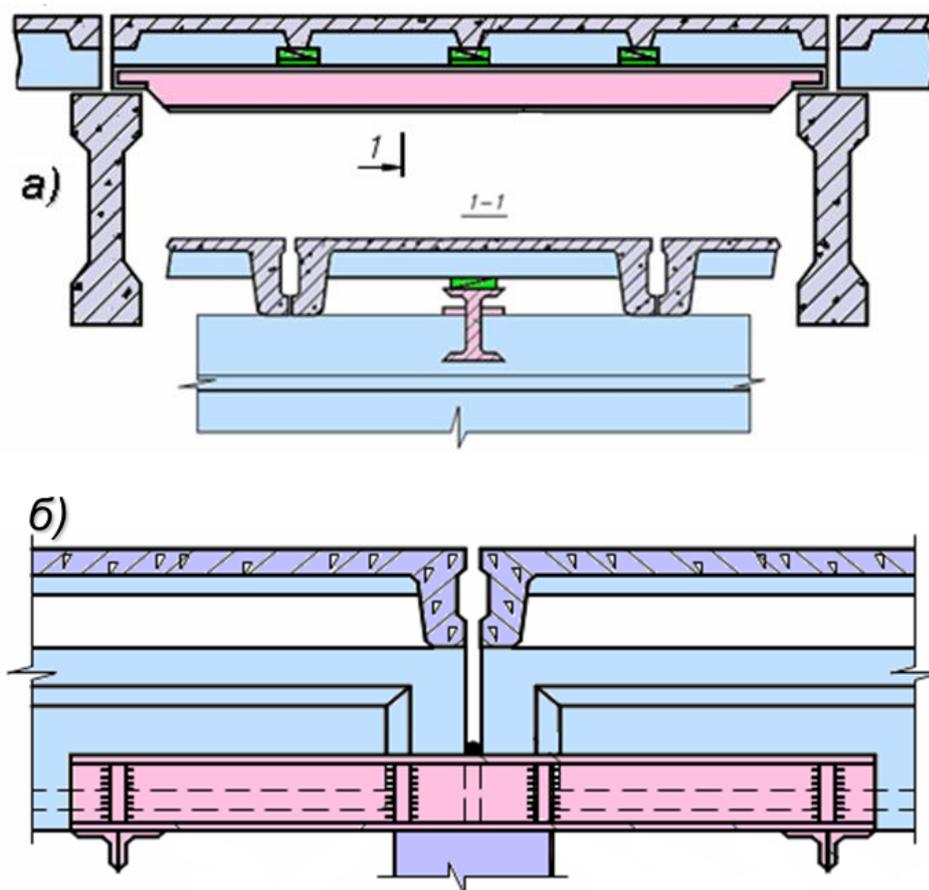


Рисунок 4 – Усиление железобетонных конструкций дополнительными упругими опорами:
 а – усиление конструкции дополнительной упругой опорой в виде шарнирно опертой балки в пролете;
 б – усиление конструкции дополнительной упругой опорой в виде двухконсольного кронштейна

Если между усиливаемой конструкцией и упругой опорой контакт в поперечном направлении предусматривается по всей длине (в отличие от наращивания касательные напряжения по контакту не учитываются), расчет производят исходя из равенства значений кривизны изогнутых осей контактирующих балочных конструкций. Изгибающий момент ($M_{ad} = M_{ad,1} + M_{ad,2}$) от нагрузки, приложенной после усиления, распределяется пропорционально их жесткостям.

$$\frac{M_{ad,1}}{B_1} = \frac{M_{ad,2}}{B_2} \quad (1)$$

Изгибную жесткость усиливаемой железобетонного элемента в предельном состоянии, необходимую для расчета, допускается определять по формуле

$$B = \frac{M_{Rd}}{(1/r)_{cr}} \quad (2)$$

где M_{Rd} – изгибающий момент, соответствующий несущей способности усиливаемой железобетонной конструкции;

$(1/r)_{cr}$ – кривизна усиленного железобетонного элемента с трещинами нормального отрыва при действии изгибающего момента, равного M_{Rd} .

Если конструкция упругой опоры не подвешивается у опор к усиливаемой конструкции, выполняют проверку на отрыв усиливаемой конструкции от опор при снятии переменной нагрузки. При появлении в месте установки дополнительной упругой опоры отрицательных изгибающих моментов производят проверку поперечных сечений усиливаемой конструкции на его воздействие. Расчет элементов железобетонных и стальных упругих опор (балок, ферм, двухконсольных кронштейнов и др.) производят по правилам СП 5.03.01 и СП 5.04.01 соответственно на воздействия после усиления.

Пример результатов расчета шарнирно опертой балки, усиленной под нагрузкой дополнительной упругой опорой в виде стальной балки в середине пролета, приведена на рис. 5.

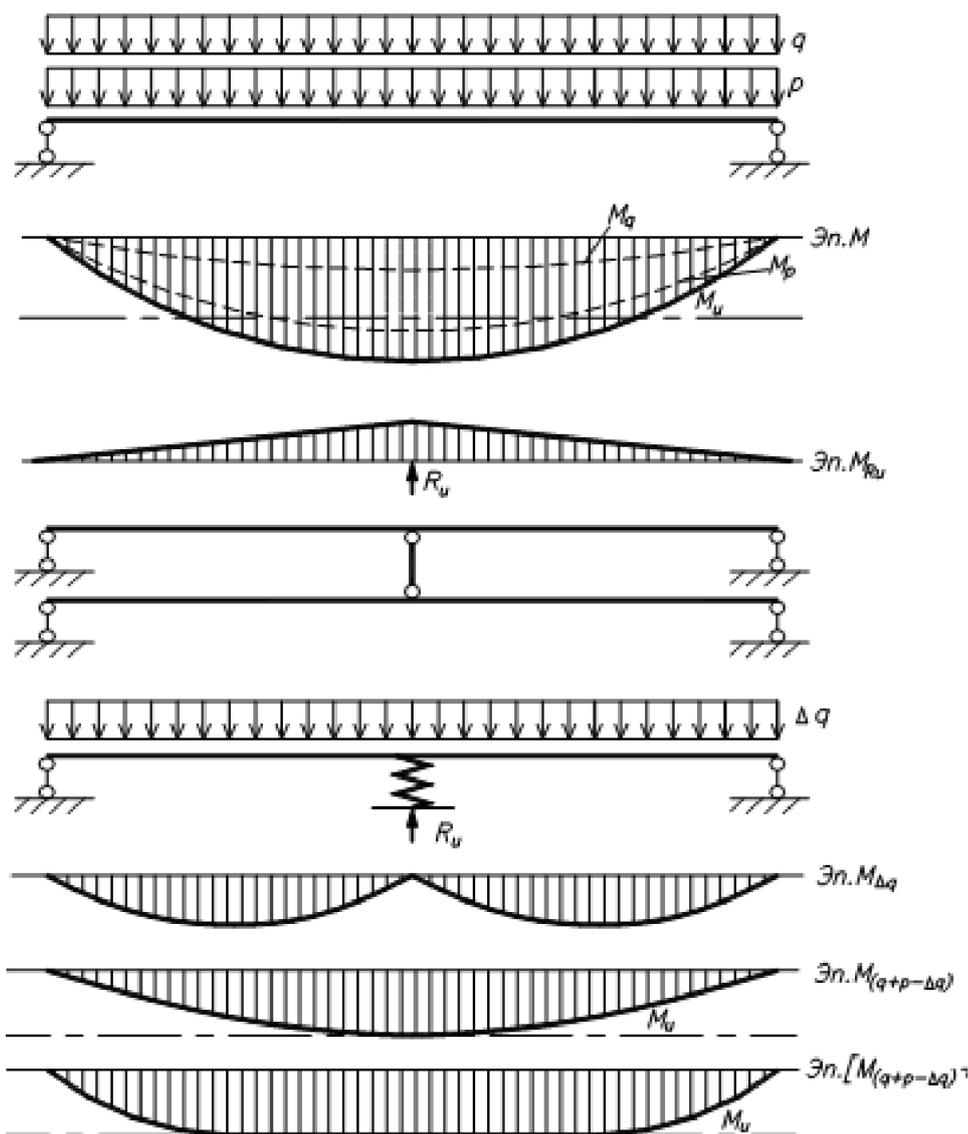


Рисунок 5 – Пример результатов расчета шарнирно опертой балки, усиленной под нагрузкой дополнительной жесткой опорой в середине пролета

Выводы.

Предложена методика оценки технического состояния существующих и усиленных конструкций, классификация способов усиления бетонных и железобетонных конструкций исходя из вероятной схемы их разрушения (усиление «слабой» зоны), инженерный метод оценки не-

сущей способности конструкций, усиленных путем устройства дополнительных жестких и упругих опор.

Литература:

1. СН 2.01.01-2019. Основы проектирования строительных конструкций.
2. СП 5.03.01-2020. Бетонные и железобетонные конструкции.
3. Лазовский Д. Н. Учет ползучести и усадки бетона по СП 5.03.01-2020 при расчете железобетонных конструкций на основе деформационной расчетной модели / Д. Н. Лазовский, В. В. Тур, Д. О. Глухов, Е. Д. Лазовский // Вестник Брестского гос. техн. ун-та. Серия: Технические науки (строительство, машиностроение, геоэкология). Экономические науки. – 2021 г. – № 2 (125) – С.7–12.
4. Лазовский Д. Н. Оценка напряженно-деформированного состояния эксплуатируемых железобетонных конструкций с нарушенным сцеплением арматуры с бетоном / Д. Н. Лазовский, А. Халед // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь: Сборник статей IV межвузовского семинара/ Под ред. Т. М. Пецоляда. – Гомель: Бел. гос. ун-т транспорта. – 1998. – С. 92–100.
5. Пособие П 1-98 к СНиП 2.03.01-84*. – Усиление железобетонных конструкций.
6. СП 5.04.01-2021. Стальные конструкции.
7. Лазовский Д. Н. Расчетная модель напряженно-деформированного состояния статически неопределимых железобетонных конструкций / Д. Н. Лазовский, Д. О. Глухов, Е. Д. Лазовский, А. И. Гиль // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки. – 2022 г. – № 14 (32). – С.29–44.
8. Lazouski D. Modeling of Behavior of the Bending Reinforced Concrete Structures Under Load / D. Lazouski, D. Gluhov, Y. Lazouski, A.Hil // Sustainable and Digital Building/ Proceedings of the International Conference, 2022//Editors: F.Gaspar, A.Mateus. – Springer. – Switzerland AG. – 2023. – P. 279–291.