

Академия наук СССР
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ФИЛИАЛ имени В. Л. КОМАРОВА

НА ПРАВАХ РУКОПИСИ

Инженер И. Я. МЕДНИК

ПРИМЕНЕНИЕ
НАПРЯЖЕННО-АРМИРОВАННОГО
ЖЕЛЕЗОБЕТОНА В ОПОРАХ
МОСТОВ

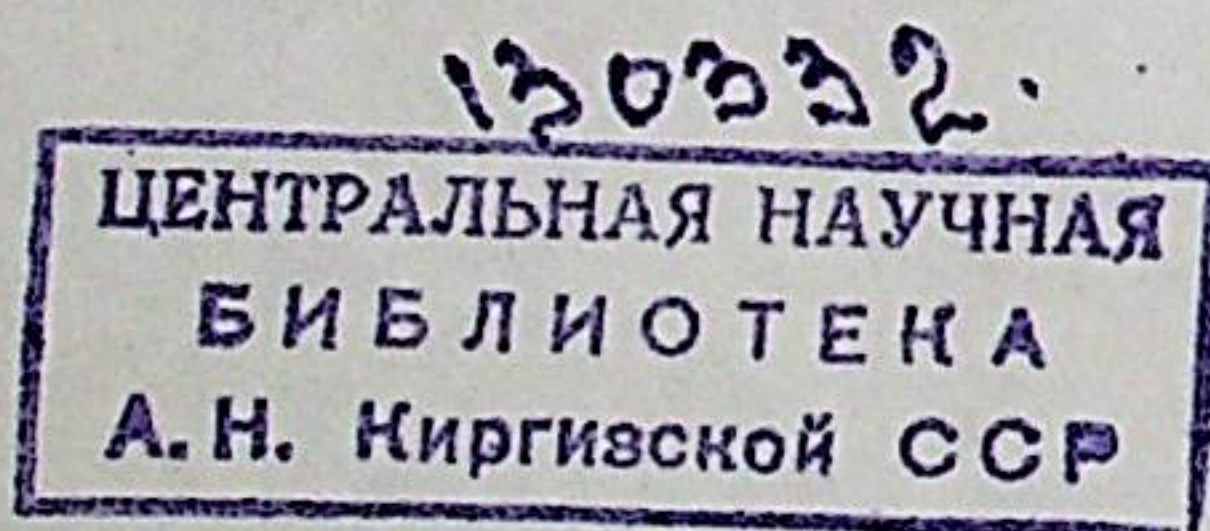
*АВТОРЕФЕРАТ ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК*

г. ВЛАДИВОСТОК
1958

А1

Работа выполнена в Хабаровском институте
инженеров железнодорожного транспорта.

Научный руководитель — заслуженный деятель науки
и техники Грузинской ССР профессор В. И. Гнедовский.



І. ВВЕДЕНИЕ

Взятый в соответствии с шестым пятилетним планом развития народного хозяйства СССР курс на широкое внедрение сборного железобетона в различные области строительства обеспечивает новый подъем мостостроения.

Сборный железобетон, особенно напряженно-армированный, позволяет наиболее полно индустриализировать возведение мостов, снизить трудоемкость работ, выполняемых на месте постройки, ускорить темпы строительства и сократить затраты материалов и общую стоимость сооружения. Применение сборного напряженно-армированного железобетона в пролетных строениях мостов оказалось весьма эффективным.

Наряду с прогрессом, достигнутым в индустриализации изготовления пролетных строений, мостовые опоры возводятся, в основном, из монолитного бетона. Такой разрыв в методах строительства общих частей единого сооружения — моста нельзя считать нормальным, тем более, что удельный вес опор составляет 50—60% общей строительной стоимости моста. Мостовые опоры, как и пролетные строения, должны проектироваться в виде сборных конструкций заводского изготовления из обычного и напряженно-армированного железобетона. Проведенные автором диссертации исследования подтвердили принципиальную выгодность применения напряженно-армированного железобетона в опорах мостов.

Для выявления целесообразных конструктивных форм напряженно-армированных опор в первой главе диссертации подвергнуты детальному анализу особенности сборных опор из обычного железобетона, а также различные виды напряженно-армированных конструкций.

В применении сборных напряженно-армированных элементов важное значение приобретают вопросы стыкования. В работе приведена конструкция стыка, разработанная автором совместно с Я. И. Гуревичем и М. П. Даниловским. Стык одобрен и на него выдано авторское свидетельство (2).

Проведенные исследования позволили наметить пути применения напряженно-армированных мостовых опор.

Целью диссертационной работы является:

1. Выявление области технико-экономической эффективности применения напряженно-армированных мостовых опор.

2. Исследование возможных путей внедрения и разработка простых и экономичных конструкций сборных напряженно-армированных опор.

3. Теоретическое исследование и обоснование метода расчета сборных мостовых опор из напряженно-армированного железобетона.

II. Пути применения напряженно-армированного железобетона в опорах мостов

В опорах из обычного бетона сжимающие напряжения под расчетной нагрузкой невелики, поэтому вполне возможно уменьшение сечения опоры с целью получения экономии в материалах и стоимости.

Однако уменьшение сечения опоры ведет к возникновению растягивающих напряжений. Чтобы парализовать их действие, необходимо прибегнуть к армированию растянутой зоны и предохранить конструкцию от появления трещин.

Наиболее просто эти вопросы могут быть решены применением напряженного армирования. Напряженное армирование мостовых опор позволяет использовать высокопрочные материалы, индустриализировать постройку, упростить стыкование элементов и повысить степень сборности, устранить те недостатки, которые органически присущи конструкциям опор из обычного железобетона.

В диссертации получены в аналитической форме данные для выявления области технико-экономической целесообразности применения сборных напряженно-армированных мостовых опор.

Как показали исследования, применение напряженного армирования в мостовых опорах целесообразно при удовлетворении неравенства вида

$$\frac{2(1 - 2 \mu_a \frac{\sigma_{a_1}}{R_2})}{k_0 \frac{R_1}{R_2} \left(1 + 7,85 \mu_a \frac{C_{a_1}}{C_{б_2}} + q \frac{C_{a_2}}{C_{б_2}} \right)} > \frac{C_{б_2}}{C_{б_1}}, \quad (1)$$

где $C_{б_1}$ и $C_{б_2}$ — стоимость 1 куб. м бетона в обычной и напряженно-армированной опоре;

C_{a_1} и C_{a_2} — стоимость 1 т высокопрочной арматуры и металла закладных частей;

μ_a — суммарный коэффициент армирования напряженно-армированной опоры;

q — расход металла закладных частей в т на 1 куб. м бетона;

σ_{a_1} — величина предварительного напряжения в арматуре;

R_1 и R_2 — расчетное сопротивление бетона в обычной и напряженно-армированной опорах,

$k_0 = \frac{\sigma_{сж}}{R_1}$ — коэффициент использования расчетного сопротивления бетона на сжатие в обычных массивных опорах ($\sigma_{сж}$ устанавливаемые из практики или эскизным подсчетом сжимающие напряжения в бетоне массивных опор).

Исследование конструктивных форм обычных сборных железобетонных опор, сборных напряженно-армированных конструкций и сравнительный анализ разработанных автором решений позволили выявить целесообразную принципиальную схему сборных напряженно-армированных опор.

Опора состоит из блоков пустотелого сечения, железобетонного оголовка, нижней и промежуточной железобетонных плит, в которых закрепляются концы арматурных пучков или стержней высокопрочной арматуры. В стенках блоков имеются трубки для пропуска натягиваемой арматуры.

Для береговых опор целесообразным решением является раздельный устой, в крыльях которого, как и во всей опоре, создается предварительное сжатие. В случае применения в раздельных напряженно-армированных устоях закладки обсыпной части на повышенных отметках с устройством каменной подсыпки (предложение И. В. Яропольского) примерная экономия в кладке, по сравнению с массивными опорами, составит до 80%.

Весьма эффективно применение напряженного армирования в так называемых пластинчатых устоях, которые представляют собой конструкцию, состоящую из ряда параллельных стенок. Стенки перекрываются железобетонной плитой и соединяются между собой железобетонными распорками.

Из анализа различных вариантов сборных напряженно-армированных опор в зависимости от пролета, высоты моста над фундаментом и условий перевозки элементов (главным образом по железной дороге) выявились следующие принци-

пильные решения: для малых мостов с пролетными строениями до 20 м и высотой опор до 15 м целесообразны конструкции без членения на блоки; в мостах средних пролетов (20—60 м) рациональными являются пустотелые опоры телескопического вида с горизонтальным членением на блоки; для больших мостов возможной конструктивной формой являются сборные напряженно-армированные опоры с горизонтальным и вертикальным членением на блоки.

В работе приведены разработанные по предлагаемым схемам конструктивные решения и рациональные типы блоков для сборных напряженно-армированных опор. Во всех предлагаемых решениях крепление надфундаментной части к фундаменту и железобетонным плитам производится путем натяжения арматуры, заанкеренной в плитах и пропущенной через трубки в стенках блоков.

При отсутствии растягивающих напряжений в поперечном сечении опоры предлагаемые блочные конструкции применимы без напряженного армирования. Взаимное соединение блоков осуществляется при этом с помощью арматурных каркасов-коротышей, которые устанавливаются на концах трубок и заливаются раствором.

Проведенное исследование, опытное проектирование и анализ полученных результатов позволяют сделать ряд выводов по общим вопросам применения сборных напряженно-армированных железобетонных опор.

1. Применение напряженно-армированных железобетонных опор позволяет: индустриализировать изготовление конструкций, снизить объем и трудоемкость работ, выполняемых на месте постройки; ускорить темпы возведения опор, а следовательно и моста в целом; снизить расход материалов на опалубку; добиться существенной экономии в расходе бетона и стали. Решение этих задач позволяет значительно снизить стоимость мостовых опор.

Применение напряженного армирования в опорах мостов, наряду с этим, обеспечивает: использование высокопрочных материалов, применяемых с целью повышения и экономичности и транспортабельности конструкций; повышение трещиностойкости железобетонных сооружений, что является особо важным в мостовых опорах; упрощение стыкования элементов и крепления всей конструкции к фундаменту.

2. Областью наибольшей технико-экономической целесообразности применения напряженно-армированных опор являются мосты средних и больших пролетов,

3. Среди возможных конструктивных решений напряженно-армированных мостовых опор хорошими технико-экономическими показателями выделяются сборные пустотелые блочные конструкции, которые имеют следующие основные преимущества:

а) возможность применения для широкого диапазона высот и пролетов мостов, в устоях и быках, как с напряженным армированием, так и без него;

б) получение экономии, по сравнению с бетонными опорами, в расходе материалов до 45—75% и в стоимости до 25—50%;

в) возведение опор без напряженного армирования, что обеспечивает экономию в бетоне по сравнению с массивными опорами более чем на 60% и в стоимости до 50%;

г) создание благоприятных условий для типизации и унификации конструкций мостовых опор;

д) возможность повысить устойчивость сооружения на опрокидывание, обеспечить более равномерное распределение давления на основание и благоприятные условия для нормальной работы предлагаемых конструкций за счет заполнения колодцев блочных опор дешевыми материалами (грунтом, тощим бетоном).

III. Обоснования метода расчета и проектирования сборных напряженно-армированных железобетонных опор мостов

В диссертации дана разработка метода расчета сборных напряженно-армированных опор по разрушающим нагрузкам и по предельным состояниям.

Напряженно-армированные конструкции в настоящее время рассчитываются по разрушающим нагрузкам, а все другие строительные конструкции по предельным состояниям. Это ничем не оправдано. Расчет сборных опор из напряженно-армированного железобетона целесообразно и даже необходимо построить по предельным состояниям, так как при расчете опор и использованием обобщенного коэффициента запаса, действительный запас надежности оказывается зачастую значительно ниже расчетного.

Расчет сборных напряженно-армированных мостовых опор по предельным состояниям включает в себя расчет на прочность, выносливость, устойчивость формы и положения, по общим деформациям и на трещиностойкость.

Как показали исследования автора, если при расчете напряженно-армированных опор по предельным состояниям конструкция удовлетворяет требованиям трещиностойчивости, то она почти всегда удовлетворяет и требованиям прочности. В связи с этим проектирование сборных напряженно-армированных опор целесообразно начинать с расчета на трещиностойчивость.

Наиболее важной особенностью расчета сборных напряженно-армированных опор является двустороннее действие изгибающих моментов при различном характере загрузки, в связи с чем, для обеспечения прочности и трещиностойчивости, требуется двустороннее напряженное армирование. Предварительно напряженная арматура, расположенная при данном нагружении в сжатой зоне, понижает несущую способность и трещиностойчивость опоры, почему пренебрежение этой арматурой наносит ущерб надежности сооружения. В связи с указанными особенностями расчет напряженно-армированных железобетонных опор может быть построен только на совместном решении уравнений, выражающих условия надежности для данного предельного состояния при двух наиболее невыгодных для каждой грани опоры характерах загрузки.

Исходя из указанных общих особенностей, в третьем предельном состоянии для обеспечения трещиностойчивости налагаются следующие ограничения: в опоре не должны возникать растягивающие напряжения, а сжимающие напряжения не должны быть больше расчетного сопротивления бетона на сжатие. Эти условия приводят к необходимости решения системы 4 уравнений, с 4 неизвестными. Исследование этих уравнений и выделение факторов, зависящих только от геометрических характеристик сечения, позволило получить в явном виде выражения для определения требуемых сил предварительного натяжения, площадей сечения арматуры и расчетного сопротивления бетона.

Силы предварительного натяжения арматуры определяются по формулам:

$$N_n = \Delta_1 \frac{M_1 + M_2}{h} - \Delta_2 (N_1 + N_2) + \frac{M_1 - M_2}{2(1 - \gamma)h} - \Delta_3 (N_1 - N_2) \quad (2)$$

$$N'_n = \Delta_1 \frac{M_1 + M_2}{h} - \Delta_3 (N_1 + N_2) - \frac{M_1 - M_2}{2(1 - \gamma)h} + \Delta_3 (N_1 - N_2) \quad (2')$$

Расчетное сопротивление бетона —

$$R = \frac{N_1 + N_n + N'_n}{bhf_1(\beta\gamma)} \quad (3)$$

площади сечения арматуры —

$$f_a = \frac{N_n}{\sigma_{ак} - \Sigma\Delta\sigma_a} \quad (4)$$

$$f'_a = \frac{N'_n}{\sigma_{ак} - \Sigma\Delta\sigma_a} \quad (4')$$

где M_1, M_2, N_1 и N_2 — внешние силовые факторы, h, b, β, γ — геометрические характеристики сечения опоры,

$\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, f_1(\beta, \gamma)$ —

— коэффициенты, определяемые в зависимости от β и γ по таблицам, приведенным в работе, $\sigma_{ак}$ — контролируемое при натяжении предварительное напряжение в арматуре; $\Sigma\Delta\sigma_a$ — суммарные потери предварительного напряжения в арматуре.

После того как в третьем предельном состоянии определены сечение арматуры и расчетное сопротивление бетона, расчет сводится к проверке конструкции в других предельных состояниях.

Расчет в первом предельном состоянии по прочности производится по флажковой эпюре распределения напряжений в сжатой зоне бетона. Наряду с проверкой прочности в этом расчете выявляется целесообразное распределение материала между стенками и полками поперечного сечения опоры. В работе дано решение вопроса о минимальном проценте армирования напряженно-армированных мостовых опор.

Решение получено в форме

$$\mu_a \min = \frac{100 A}{(1 - \delta)^2} \cdot \frac{R_p}{R_a} \% \quad (5)$$

где A — коэффициент, зависящий только от геометрических характеристик опоры и определяемой по приводимой в работе таблице.

R_p — расчетное сопротивление бетона на растяжение,

R_a — расчетное сопротивление высокопрочной арматуры.

В работе обоснован расчет напряженно-армированных опор по первому предельному состоянию на выносливость по тре-

угольной эпюре с учетом изменения модуля упругости бетона и появления в бетоне дополнительных деформаций вследствие действия длительных переменных нагрузок.

Как показали исследования, в этом предельном состоянии необходимо ограничить раскрытие трещин между блоками. Выполнение этого ограничения достигается целесообразным членением опоры на блоки по высоте.

Расчет на устойчивость положения (опрокидывание и скольжение) позволяет выявить целесообразные размеры нижней железобетонной плиты и фундамента опоры.

Расчет по второму предельному состоянию по общим деформациям производится с целью выявления деформаций опоры от сил напряженного армирования и внешней нагрузки. В результате исследования выявлено, что эти деформации в пустотелых опорах могут быть значительными. Это вызывает необходимость их нормировать с целью обеспечения надежной работы сборных опор.

В диссертации дана разработка методики расчета опор по разрушающим нагрузкам. Расчет по предлагаемой методике является весьма простым и может выполняться по методу последовательных приближений. При этом получается хорошая сходимость.

В конце диссертации дан пример расчета сборного напряженно-армированного устоя по предельным состояниям. Результаты расчета и конструирования полностью подтвердили правильность принятых предпосылок.

Проведенные исследования с целью обоснования и разработки методики расчета сборных напряженно-армированных блочных опор мостов позволили сделать следующие выводы.

1. Сборные напряженно-армированные железобетонные опоры должны рассчитываться по предельным состояниям, так как степень обеспеченности безопасной работы мостовых опор при расчетах по разрушающим нагрузкам является заниженной.

2. Расчет во всех предельных состояниях должен производиться с учетом двустороннего действия на опору изгибающих моментов при различных характерах загрузки.

3. Расчет напряженно-армированных опор в первом предельном состоянии на прочность производится таким же образом, как и конструкций из обыкновенного железобетона. При этом обязательно должно учитываться реактивное усилие, передаваемое напряженной арматурой, расположенной при данном нагружении в сжатой зоне.

4. Задаваемый нормами и техническими условиями минимальный коэффициент армирования конструкций из обычного железобетона для напряженно-армированных опор является завышенным.

Перенесение требований норм относительно минимального коэффициента армирования на напряженно-армированные опоры может приводить к 5—8-кратному неоправданному перерасходу арматуры. В связи с этим назначение минимального коэффициента армирования следует производить на основании зависимости, полученной в работе.

5. Расчет напряженно-армированных опор по первому предельному состоянию на выносливость целесообразно производить по треугольной эпюре. При этом должно учитываться изменение модуля упругости бетона и появление в бетоне дополнительных деформаций вследствие действия длительных переменных нагрузок.

Указанные дополнительные деформации увеличивают потери напряженного армирования, которые также должны учитываться в расчетах опор на выносливость.

6. В расчете на выносливость, который в целом ряде случаев производится по тем же нагрузкам, что и расчет на трещиностойкость, следует ограничить раскрытие трещин. Конструктивно ограничение раскрытия трещин достигается целесообразным членением опоры на блоки по высоте.

7. Назначение размеров нижней железобетонной плиты, которая служит для сопряжения опоры с фундаментом, следует производить, исходя из расчета по первому предельному состоянию на устойчивость положения.

8. В расчете опор по второму предельному состоянию по общим деформациям, наряду с определением деформаций оснований и фундаментов, должен определяться прогиб верха опоры от действия внешней нагрузки и напряженного армирования. Прогиб верха напряженно-армированных опор должен нормироваться.

9. Расчет сборных напряженно-армированных блочных опор на трещиностойкость должен производиться по треугольной эпюре, исходя из требования, чтобы в конструкции не возникали растягивающие напряжения, а сжимающие напряжения не превышали расчетного сопротивления бетона на сжатие. При этом, как и в расчетах на прочность, должно учитываться двустороннее действие нагрузки, что достигается совместным решением неравенств, записанных для третьего предельного состояния при различных характерах загрузки.

10. Произведенными автором исследованиями установлено, что если напряженно-армированная опора удовлетворяет требованиям трещиностойкости, то она почти всегда удовлетворяет и требованиям прочности. Поэтому целесообразно начинать расчет и конструирование сборной напряженно-армированной опоры с обеспечения трещиностойкости и затем переходить к проверке конструкции по другим предельным состояниям.

**Перечень опубликованных работ, в которых
изложено содержание диссертации**

1. Медник И. Я. К вопросу о применении предварительно напряженного железобетона в опорах мостов. Труды Хабаровского института инженеров железнодорожного транспорта. Выпуск 9. Трансжелдориздат, 1956.

2. Медник И. Я., Гуревич Я. И., Даниловский М. П. Устройство стыкового соединения арматурных пучков. Авторское свидетельство № 101367. Министерство транспортного строительства. Москва. 14 января 1956.

* * *

Диссертация содержит 205 страниц машинописи. В тексте имеются 42 таблицы, 147 расчетных формул, 65 фигур. Список использованной литературы состоит из 83 названий.

