

Бильченко А.В., Кислов А.Г., Кожушко В.П., Синьковская Е.В.*Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет
(ул. Ярослава Мудрого, 25, Харьков, Украина; e-mail: kmksm@ukr.net)***Тыква А.И.***Харьковский государственный автомобильно-дорожный колледж
(ул. Котельниковская, 3, Харьков, Украина; e-mail: kmksm@ukr.net)*

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РАСЧЕТА МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

Проблема определения жизненного цикла мостовых сооружений, как на стадии проектирования, так и в процессе эксплуатации - всегда была наименее изученной в теории сооружений, однако наиболее значимой в социально-экономическом плане. Корректная постановка оценки ресурса сооружения сложна, так как требует учета изменчивости физико-механических свойств материалов и схем распределения усилий во времени. Кроме того, необходим учет чувствительности к деградации конструктивной формы сооружения, условий эксплуатации и технологий выполнения ремонтных работ каждого конструктивного элемента в отдельности и сооружения в целом.

Целью работы является исследование работы монолитной железобетонной плиты после капитального ремонта мостов. Технологический процесс устройства железобетонной плиты имеет определенные трудности при объединении новой железобетонной плиты со старой (существующей). После объединения изменяется схема работы плиты и методы ее расчета.

Результаты исследований показали, что несущая способность плит увеличивается практически в два раза по сравнению с решениями по принятой методике расчет. При этом зоны работы арматуры в каждом направлении перекрываются, а прочность бетона используется полностью.

Ключевые слова: монолитная плита, армирование, распределение усилий, мостовые сооружения, технология, ремонтные работы.

Введение. Проблема определения жизненного цикла мостовых сооружений, как на стадии проектирования, так и в процессе эксплуатации - всегда была наименее изученной в теории сооружений, однако наиболее значимой в социально-экономическом плане. Сегодня значительная часть мостовых сооружений находится в четвертом эксплуатационном состоянии, которое на основании ДБН предусматривает их капитальный ремонт. Трудно согласиться, что при ремонте можно сохранить существующее конструктивное решение, которое может быть пригодно для дальнейшей эксплуатации в течение оставшегося периода жизненного цикла. В условиях весьма ограниченного финансирования системы эксплуатации мостовых сооружений, стратегическое планирование отрасли должно опираться на, как можно, более точный прогноз жизнеспособности конструктивных решений, который включает в себя остаточный

ресурс, предусматривающий мероприятия по его продлению.

Корректная постановка оценки ресурса сооружения сложна, так как требует учета изменчивости физико-механических свойств материалов и схем распределения усилий во времени. Кроме того, необходим учет чувствительности к деградации конструктивной формы сооружения, условий эксплуатации и технологий выполнения ремонтных работ каждого конструктивного элемента в отдельности и сооружения в целом.

Таким образом, глобальная проблема определения жизненного цикла состоит в том, чтобы объединить научный базис исследований работы железобетона с требованиями правил проектирования, условиями строительства и получить модель работы сооружения на всех его этапах, включающих поточные и капитальные ремонты и возможную реконструкцию.

Анализ литературных источников.

Учитывая диссонанс между темпами роста нагрузок на мостовые сооружения и деградацией элементов железобетонных конструкций со временем в нормативных документах [1] было введено требование, которое предусматривает при капитальном ремонте проезжей части устройство сплошной железобетонной плиты толщиной 18-20 см.

Технологический процесс устройства железобетонной плиты [2-4] имеет определенные трудности при объединении новой железобетонной плиты со старой (существующей). После объединения изменяются схема работы плиты и методы ее расчета. Существует вероятность того, что это объединение не является абсолютно жестким с точки зрения строительной механики. Кроме того, расчётные сопротивления материалов, коэффициенты условий работы, надежности по нагрузкам и материалам должны быть адекватными и должны корректироваться с принятыми соответствующими уровнями нагрузок [5], чтобы нормируемая надежность против наступления возможных предельных состояний была выдержана. Бетон в плитах, которые объединяются, будет разным как по прочности, так и по гранулометрическим требованиям, поскольку на механические характеристики бетона при сжатии оказывают заметное влияние возраст бетона, а также неоднородность, форма и размеры сжатой зоны конструкции [6-9].

Принципиально стоит вопрос о расчетной схеме новой железобетонной плиты:

1. Если соединение жесткое, тогда новая плита будет полностью находиться в сжатой зоне и работать на внецентренное сжатие;
2. Если соединение не жесткое, тогда новую плиту необходимо рассчитывать как плиту, работающую на упругом основании.

Однако, исходя из геометрических характеристик пролетных строений, в которых длина и ширина плиты сопоставимы, как в первом, так и во втором случаях, плита работает в двух направлениях как плоская система.

Железобетонные плиты, работающие в двух направлениях, рассмотрены в работах [10-14]. Результаты исследований показали, что несущая способность плит увеличивается практически в два раза в сравнении с решениями по принятой методике расчета. При этом зоны работы арматуры в каждом направлении перекрываются, а прочность бетона используется полностью.

Таким образом, необходимо выполнить анализ напряженно-деформированного состояния монолитной железобетонной плиты, которую бетонируют при выполнении капитального ремонта мостовых сооружений. Однако в работе не ставится цель определения усилий, а решается задача анализа распределения этих усилий внутри системы.

Реализация задачи. Со стратегических позиций расчет плит, работающих в двух направлениях по модели предельного равновесия не вписывается в работу железобетона в эксплуатационный период. Эти расчеты направлены на проверку работ элементов и носят характер оценки предельных возможностей поперечных сечений бетона и арматуры в конструкции. Делать расчет по модели предельного равновесия под эксплуатационные нагрузки бессмысленно [11], так как при этом возможности распределения усилий не являются конечными и тем более не учитываются многие факторы, возникающие в процессе эксплуатации.

Многолетние наблюдения выявили недостаточную долговечность плит проезжей части автодорожных мостовых сооружений. Причина этого – исключительное сочетание воздействий на бетон влаги в условиях замораживания ее в порах бетона и высокого уровня динамических нагрузок.

Для правильной оценки напряженно-деформированного состояния важны более точные модели распределения напряжений в арматуре и бетоне в поперечных сечениях железобетонных конструкций. Допустим, что бетонируемая плита армируется как обычный изгибаемый или внецентренно сжатый элемент, то есть арматура укладывается в продольном и поперечном направлениях по схеме балочной плиты. Однако, в плитах, работающих в двух направлениях, усилия распределяются под углом к арматуре [12-14], в результате арматура работает в двух направлениях. Авторами были проведены экспериментальные исследования изменения угла распределения усилий и оценка его влияния на напряженно-деформативные свойства плит [10, 11].

Схема нагрузок и армирование плит показаны на рис. 1. Плиты - прямоугольные в плане с размерами 140х82см и толщине 60см.

Кубиковая прочность бетона составляла 30-38МПа, арматура имеет явную площадку текучести ($R_{zn}=350-400$ МПа). Плиты армированы прямоугольными сетками диаметром 10, 8, 6мм

Основным параметром для сопоставления деформативности плит должен быть одинаковый процент армирования. Всего испытано 10 плит при разном наклоне арматуры к действующим усилиям. Результаты эксперимента представлены на рис.2. Анализ эпюр сжатой зоны бетона показал, что они разделяются на три стадии: начальная работа, эксплуатационная и стадия предельных разрушающих усилий. При этом четко прослеживается изменение высоты сжатой зоны, а площадь эпюры характеризует несущую способность. Форма эпюры показывает, что при угле наклона стержней 90° работает только продольная арматура $\varnothing 10$ мм (α), то есть усилия распределяются по схеме балочной плиты, высота сжатой зоны меняется мало, эпюра-параболическая по всей высоте.

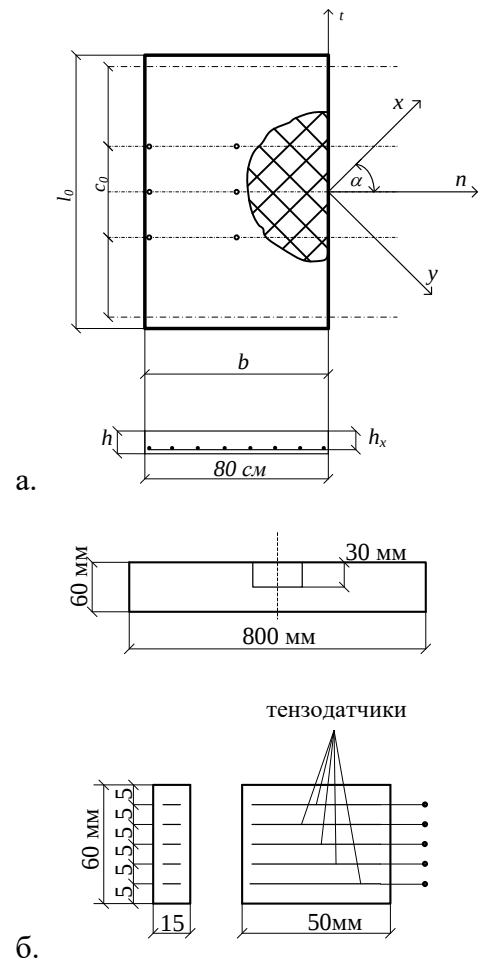


Рис. 1. К анализу эксперимента: а- схема армирования; б - закладные детали с тензодатчиками, изготовленные из бетона того же состава и класса, что и плита

При этом сжатая грань не достигает предела прочности, максимальная величина которой находится на 1/4 ее высоты за расчетную эпюру можно принять прямоугольную, что увеличивает ее площадь, а значит и несущую способность бетона сжатой зоны, поэтому по прочности бетона сечение имеет запас и полностью не используется. Близкую форму имеет эпюра сжатой зоны и при малом угле наклона арматуры (30°), $\varnothing 10$ мм и малом диаметре арматуры перпендикулярной арматуры (6мм). Практически все усилия воспринимаются арматурой $\varnothing 10$ мм, однако влияние работы арматуры $\varnothing 6$ мм все же сказывается. Наблюдается движение высоты сжатой зоны, однако

форма эпюр сохраняется практически параболической, бетон грани работает по максимуму, а форма сжатой зоны становится практически треугольной с вогнутой кривой в предельном состоянии. И все же эпюру и в этом случае можно с определенными погрешностями принять для расчета прямоугольной.

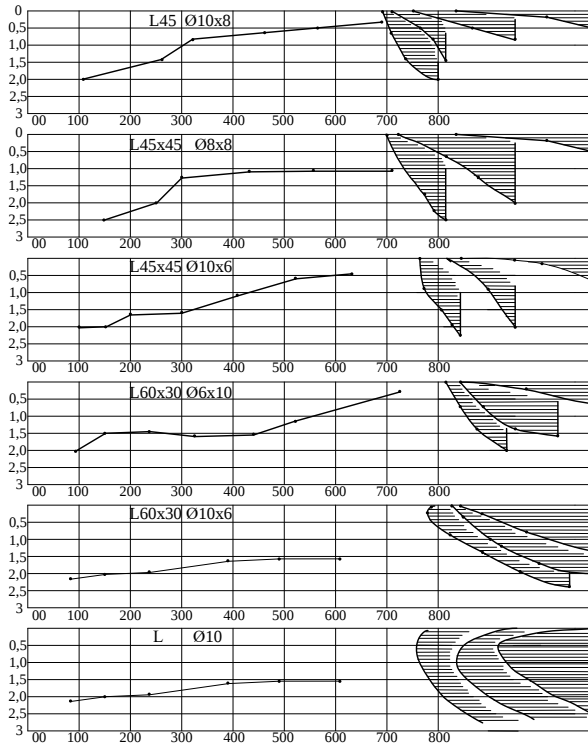


Рис. 2. Изменение высоты сжатой зоны и изменение эпюры напряжения в сжатой бетоне плиты

В следующей плите, армированной по схеме 6х10мм под углом 30°, основную работу выполняет арматура малого диаметра, поэтому она быстро достигает предельной величины. Высота сжатой зоны стремительно уменьшается, эпюры практически треугольные, с вогнутой кривой, что говорит о предельной работе грани сжатой зоны бетона, поэтому площади их уменьшаются даже в эксплуатационном состоянии, что характеризует исчерпание несущей способности бетона.

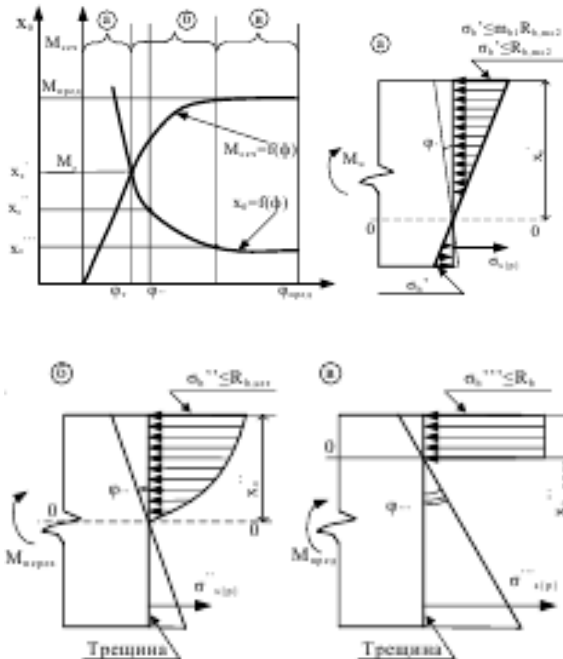


Рис. 3. Расчетные модели: а - в расчетах на выносливость ($\sigma_b' \leq m_{b1} R_b$) и продольную трещиностойкость ($\sigma_b' < R_{b,mc2}$) (это упругая работа материалов полным сечением или с кратковременно выключенной растянутой зоной); б - в расчетах на прочность – упруго-пластическая работа бетона в сжатой зоне, упругая работа арматуры, растянутая зона бетона выключена из работы (поперечная трещина); в - аварийные расчеты по модели предельного равновесия

По своей природе распределение усилий под углами 30° и 60° в природе наблюдается редко [7]. Природный угол распределения усилий составляет 45°, и плиты армированы именно под этим углом, но разной арматурой. Эксперименты показали, что эксплуатационная эпюра с вогнутой или вогнутой кривой параболы, а вот разрушающая эпюра имеет практически треугольную форму малой площади имеет вид вогнутой кривой. Таким образом, предельное равновесие достигается перед разрушением сечения при предельных моментах, превышающих вычисленные по ДБН на прочность моменты в 1,5-2,0 раза. Эффективность такой совместной работы арматуры в

двух направлениях и бетона позволяет проследить характер статического перераспределения напряжений в упруго-пластической стадии работы бетона. При этом резко снижается разброс прочности бетона. С этой точки зрения интересны исследования работы железобетонных конструкций, представленные в работе [6] (рис.3), где показана модель распределения напряжений в арматуре и бетоне в поперечных сечениях изгибаемых элементов и соотношения этих напряжений в арматуре и бетоне, принимая во внимание, что арматура работает в упругой стадии. Поэтому в рассматриваемой работе, для мостовых сооружений, с целью усовершенствования расчета верхних плит, предлагается ввести дополнительный коэффициент надежности по нагрузке (для $AK \gamma_v = 1,4$ и $\gamma_v = 1,1$). Вводимые коэффициенты надежности в целом не ужесточают требований действующих норм. Они вводятся избирательно и связаны с дифференциацией схемы расчета на прочность элемента, работающего в двух направлениях, однако бетон следует принимать с повышенной морозостойкостью $F400$ и водонепроницаемостью $W8$.

Выводы

1. Верхнюю плиту при капитальном ремонте можно рассматривать как плоскую систему с распределением усилий в двух направлениях, несущая способность которой увеличивается в $1,5 \div 2$ раза в зависимости от класса бетона и арматуры.

2. Одним из решений может быть или уменьшение расчетной площади сечения арматуры или уменьшение толщины плиты до 15-18 см, так как на практике модель предельного равновесия не может быть реализована даже при достаточно большой деградации конструктивной формы железобетонного элемента.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Споруди транспорту. Мости та труби. Правила проектування: ДБН В.2.3-11.-2006. (Чинні від 2007-02-01). – К.: Міністерство

- будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства, 2006. – 359с. – (Державні будівельні норми України).
2. Кислов А.Г. К вопросу продления срока службы мостовых сооружений /А.Г.Кислов, А.В.Бильченко, А.С.Лозицкий, А.В.Игнатьев // Науковий вісник будівництва.- Харків: ХНУБА, 2017.- т.88.- №2.- С.131-136.
3. Кожушко В.П. Повышение долговечности автодорожных мостов: монография / В.П.Кожушко, А.В.Бильченко, А.Г. Кислов и др.; под ред В.П.Кожушко.- Харьков: ХНАДУ, 2016.- 236 с.
4. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів ДБН В.1-5-2007.- (Чинні від 2008-01-01).- К: Мінергобуд України, 2007.-15с.- (Державні будівельні норми України).
5. Иосилевский Л.И. Пути совершенствования проектирования железобетонных мостов /Л.И. Иосилевский, М.С. Руденко// Транспортное строительство.- 2001.- №5.- С.21-25.
6. Чайка В.П. Совершенствование норм проектирования мостовых конструкций на основе концепции конструктивной прочности бетона / В.П.Чайка // Транспортное строительство. - 2001. - №11.- С.20-26.
7. Uppal J.Y. The Effect of Longitudinal Gradients of Compressive stress upon the Failure of Concrete/ J.Y.Uppal, K.O.Kemp// Magazine of Concrete Research.-1971.-Vol. 23. - №74. - P.46-47.
8. Lin T.Y., Kulka F Canadian Journal of Civil Engineering. - 1995. - №8.
9. Cuelho Eli, Evalyating Concrete Bridge / Eli Cuelho, Jerry Stephens, Peter Smolenski, Jeff Johnson // Montana Department of Transportation: Final Report FN WA/ MT-06-000/8156-002, June.-2006.-P.302.
10. Гвоздев А.А. Работа железобетона с трещинами при плоском напряженном состоянии /А.А.Гвоздев, Н.И.Карпенко // Строительная механика и расчет сооружений.- 1965.- №2.-С.9-11.
11. Карпенко Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами. / Н.И. Карпенко.- М.: Стройиздат, 1976.- 205с.
12. Бильченко А.В. Экспериментальная проверка и исследования параметров теории

деформирования железобетонных плит с трещинами, работающих в двух направлениях /А.В.Бильченко, Н.И.Карпенко// Тр. НИИЖБ Прочность и жесткость железобетонных конструкций. - М.: - Стройиздат, 1971.

13. Бильченко А.В. Дослідження роботи залізобетонних плит, що працюють у двох напрямках /А.В.Бильченко// Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури.- Одеса:ОДАБА, 2014.- Вип.53.-С.55-60.
14. Бильченко А.В. Характер розвитку тріщин по полю залізобетонної плити /А.В.Бильченко, С.М.Краснов// Бетон і залізобетон в Україні.- 2002.- №2, Полтава, С.23-25.

Бильченко А.В., Кіслов О.Г., Кожушко В.П., Синьковська О.В., Тиква А.І. ДЕЯКІ ПИТАННЯ РОЗРАХУНКУ МОНОЛІТНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ ПРОЇЗДЖОЇ ЧАСТИНИ МОСТОВИХ СПОРУД. Проблема визначення життєвого циклу мостових споруд, як на стадії проектування, так і в процесі експлуатації - завжди була найменше вивченою в теорії споруд, однак найбільш значимою в соціально-економічному плані. Коректна постановка оцінки ресурсу споруди складна, так як вимагає врахування зміни фізико-механічних властивостей матеріалів і схем розподілу зусиль із часом. Крім того, необхідне врахування чутливості до деградації конструктивної форми споруди, умов експлуатації і технології виконання ремонтних робіт кожного конструктивного елементу окремо і споруди в цілому.

Метою роботи є дослідження роботи монолітної залізобетонної плити після капітального ремонту мостів. Технологічний процес влаштування залізобетонної плити має деякі труднощі при об'єднанні нової залізобетонної плити зі старою (що існує). Після об'єднання змінюється схема роботи плити і методи її розрахунку.

Результати досліджень показали, що несуча здатність плит збільшується практично в два

рази в порівнянні з рішенням за прийнятою методикою розрахунку. При цьому зони роботи арматури в кожному напрямку перекриваються, а міцність бетону використовується повністю.

Ключові слова: монолітна плита, армування, розподіл зусиль, мостові споруди, технологія, ремонтні роботи.

Bilchenko A.V., Kislov A.G., Kozhushko V.P., Sinkovskaya E.V., Tykva A.I. SOME ISSUES OF CALCULATION OF MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE PLATES OF THE VEHICLES OF A PART OF BRIDGE STRUCTURES. The problem of determining the life cycle of bridge structures, both at the design stage and during operation, has always been the least studied in the theory of structures, but the most significant in the socioeconomic sense. A correct statement of the estimate of the resource of a structure is complex, since it requires taking into account the variability of the physico-mechanical properties of materials and the patterns of force distribution over time. In addition, it is necessary to take into account the sensitivity to degradation of the structural form of the structure, the operating conditions and the technologies for performing the repair work of each structural element separately and the structure as a whole.

The aim of the work is to study the work of a monolithic reinforced concrete slab after major overhaul of bridges. The technological process of the device of reinforced concrete slab has certain difficulties when combining the new reinforced concrete slab with the old (existing) one. After the merger, the plate layout and methods of its calculation are changed.

The results of the studies showed that the load-bearing capacity of plates increases almost twofold in comparison with the solutions according to the accepted calculation method. In this case, the operating zones of the reinforcement in each direction overlap, and the strength of the concrete is used completely.

Key words: monolithic plate, reinforcement, distribution of forces, bridges, technology, repair work.