

# АНАЛИЗ РАБОТЫ ТАВРОВЫХ БАЛОК СО СМЕШАННЫМ АРМИРОВАНИЕМ В ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЯХ МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

## ANALYSIS OF FUNCTION OF THE T-BEAMS WITH MIXED REINFORCEMENT IN THE FRAMEWORKS OF BRIDGE STRUCTURES

**Л. В. Гулицкая,**

кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник  
филиала Белорусского  
национального технического  
университета  
«Научно-исследовательская  
часть», г. Минск, Беларусь

**Д. Е. Гусев,**

кандидат технических наук,  
главный специалист  
ООО «Экомост»,  
г. Минск, Беларусь

**О. С. Шиманская,**

заведующий лабораторией  
НИЛ МИС филиала  
Белорусского национального  
технического университета  
«Научно-исследовательская  
часть», г. Минск, Беларусь

*Одним из распространенных типов пролетных строений эксплуатируемых мостов и путепроводов являются сборные пролетные строения из тавровых балок длиной 12 и 15 м, которые могут быть с разными типами армирования, при этом не отличаясь по внешнему виду. В статье рассмотрены особенности работы таких балок со смешанным и каркасным армированием. Выполнена оценка технико-эксплуатационного состояния мостовых сооружений с пролетными строениями из тавровых балок длиной 12 и 15 м с разными типами армирования. Как показывают результаты оценки технико-эксплуатационного состояния, балки с каркасным армированием являются более надежными по сравнению с балками со смешанным армированием.*

*Рассмотрены особенности грузоподъемности мостовых сооружений с пролетными строениями из балок с различными типами армирования, выполнено сравнение параметров балок со смешанным и каркасным армированием. Приведено моделирование работы балки с каркасным армированием, поврежденной при ударе негабаритным транспортным средством. Моделирование выполнено с помощью ПК MIDAS CIVIL. Выполнен анализ грузоподъемности пролетного строения с поврежденной крайней балкой, имеющей смешанное армирование. Установлено, что важнейшей из решаемых задач является идентификация балок пролетных строений с целью уточнения типа армирования для последующего определения грузоподъемности пролетных строений и анализа технико-эксплуатационного состояния сооружения в целом.*

*Указано, что особое внимание при обследовании следует уделять определению фактической постоянной нагрузки на сооружении, фактической прочности бетона разрушающими методами, фактического шага балок, габарита мостового полотна, ширины полос безопасности. Приведены примеры способов идентификации армирования балок при проведении натурного обследования сооружения. Указаны варианты усиления сооружений с пролетными строениями из балок со смешанным армированием при выявлении их недостаточной грузоподъемности и необходимости доведения грузоподъемности до уровня А14 и НК-112.*

*One of the common types of frameworks of operated bridges and overhead passing are prefabricated frameworks made of T-beams of length 12 and 15 m, which can be of different types of reinforcement, but without differing in appearance. In the article, the features of function of such beams with*

*the mixed and skeleton reinforcement are considered. The technical and operational state of bridge structures with frameworks from T-beams of 12 and 15 m in length with different types of reinforcement has been assessed. As the results of assessment of technical and operational state show, the beams with skeleton reinforcement are more reliable than those with mixed reinforcement.*

*The features of load capacity of bridge structures with frameworks from beams with various types of reinforcement are considered, and the parameters of beams with mixed and skeleton reinforcement are compared. The modeling of the function of a beam with skeleton reinforcement, damaged by impact of an oversized vehicle, is given. The simulation has been performed using the MIDAS CIVIL PC. The analysis of load capacity of the framework with the damaged marginal beam, having a mixed reinforcement, is performed. It is established that the most important of the tasks to be solved is the identification of the beams of frameworks with the purpose of specifying the type of reinforcement for subsequent determination of load capacity of framework beams and analysis of technical and operational condition of the structure as a whole.*

*It is indicated that special attention in the analysis should be given to determination of actual constant load on the structure, actual strength of concrete by non-destructive methods, actual step of the beams, overall width of the bridge deck, and width of the safety strips. Examples of methods to identify the reinforcement of beams during on-site inspection of the structure are given. The options for reinforcing the structures with frame works from beams with mixed reinforcement are indicated, if their insufficient load capacity is identified and the need to bring the load capacity to A14 and HK-112 levels is specified.*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Опыт обследования мостовых сооружений на автомобильных дорогах Республики Беларусь показывает, что один из распространенных типов пролетных строений эксплуатируемых мостов и путепроводов – это сборные пролетные строения из тавровых балок длиной 12 и 15 м. Такие балки, имея одинаковые геометрические размеры, могут быть с разным типом армирования:

- с каркасным армированием по типовому проекту серии 3.503-14 (выпуск 5 Союздорпроекта);
- со смешанным армированием, то есть с рабочей каркасной и преднапряженной арматурой (по проектам Государственного предприятия «Белгипродор»).

Данное исследование выполнено с целью сравнения работы балок с различным армированием, изготовленных в однотипной опалубке, а также выработки рекомендаций по идентификации конструкции балок при обследовании сооружений.

## **АНАЛИЗ РАБОТЫ ТАВРОВЫХ БАЛОК СО СМЕШАННЫМ АРМИРОВАНИЕМ**

Мостовые сооружения с пролетными строениями из тавровых балок длиной 12 и 15 м со смешанным ар-

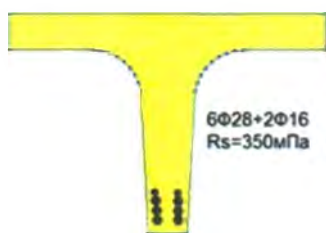
мированием разработки Государственного предприятия «Белгипродор» в основном были построены у нас в стране в конце 1980-х – начале 1990 годов. Данный период строительства характеризовался широким применением таких балок. При проектировании мостовых сооружений считалось, что грузоподъемность балок с каркасным армированием и балок со смешанным армированием одинаковая, но при этом балки со смешанным армированием стоили дешевле и были проще по технологии изготовления (при этом изготавливались они в опалубке балок с каркасным армированием), что и определило их широкое применение в тот период. Более низкая стоимость в советское время обуславливалась тем, что количество армирования в балках с преднапряженной арматурой было несколько меньше, а цена арматуры класса ВП и класса АIII в СССР отличалась незначительно. В настоящее время высокопрочная проволока для преднапряженных конструкций является импортным материалом, поскольку производится в другом государстве и стоимость ее в несколько раз превышает стоимость обычной арматуры, производимой на Белорусском металлургическом заводе. Поэтому в настоящее время стоимость изготовления таких балок в конечном итоге оказывается выше стоимости балок с каркасным армированием. Кроме этого, как показывает сравнительный анализ технико-эксплуатационного состояния эксплуатируемых мостовых сооружений с пролетными строениями из тавровых балок длиной 12 и 15 м со смешанным армированием с применением современных методик расчета грузоподъемности, эти балки проигрывают аналогичным балкам с каркасной арматурой практически по всем критериям: грузоподъемности, надежности, долговечности.

На рисунке 1 показано основное армирование для балок с каркасным армированием и для балок со смешанным армированием. В качестве рабочей продольной арматуры балок с каркасным армированием для балок длиной 12 м применена арматура класса АIII в виде шести стержней диаметром 28 мм и двух стержней диаметром 16 мм. Рабочая продольная арматура балок длиной 12 м со смешанным армированием выполнена в виде двух пучков из 28 проволок ВП диаметром 5 мм и четырех стержней диаметром 16 мм из арматуры класса АIII. В качестве рабочей продольной арматуры балок с каркасным армированием для балок длиной 15 м применена арматура класса АIII в виде десяти стержней диаметром 28 мм и двух стержней диаметром 20 мм. Рабочая продольная арматура балок длиной 15 м со смешанным армированием выполнена в виде трех пучков из 28 проволок ВП диаметром 5 мм и двух стержней диаметром 16 мм из арматуры класса АIII.

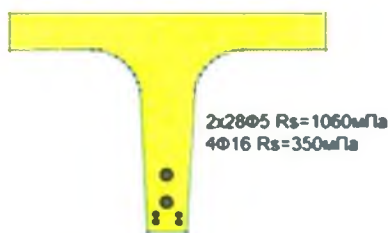
Один из основных показателей технико-эксплуатационного состояния мостового сооружения – грузоподъемность по прочности и трещиностойкости (классы нагрузок типа АК и НК). Для определения

## Балки длиной 12 м

ТП 3.503-14 выпуск 5 СДП

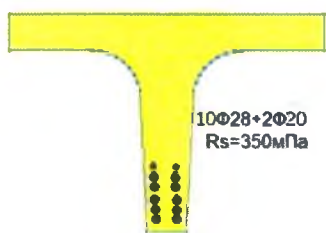


ПМП 86.15.12.000 БГД



## Балки длиной 15 м

ТП 3.503-14 выпуск 5 СДП



ПМП 86.15.12.000 БГД

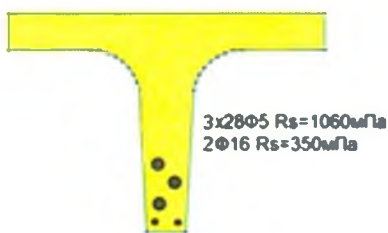


Рисунок 1 – Основное армирование балок длиной 12 и 15 м с каркасным и смешанным армированием

дений и тротуаров). Из таблицы видно, что в балках со смешанным армированием более вероятно возникновение ситуации, когда их грузоподъемность оказывается ниже требуемой.

Очень важным для определения грузоподъемности пролетных строений является также то, что по действующим нормам балки с каркасным армированием и балки со смешанным армированием относятся к разным классам требований по трещиностойкости. Согласно ТКП 45-3.03.232 [1]:

- для балок с каркасным армированием – категория по трещиностойкости 3в, основное требование по критерию трещиностойкости – максимальная ширина раскрытия трещин 0,03 см;

- для балок со смешанным армированием – категория 2б, основное требование по критерию трещиностойкости – достижение растягивающих напря-

жений в балке определенного значения, а именно по 9.5.4 [1] допускается достижение растягивающих напряжений до значений, при которых начинается трещинообразование в растянутой зоне. Для цельноперевозимых конструкций со смешанным армированием это напряжение не должно превышать удвоенного расчетного сопротивления растяжению бетона при расчете по II-й группе предельных состояний –  $2R_{bt,ser}$ . В связи с этим при обследовании существующих конструкций с такими балками одной из основных характеристик является фактическая прочность бетона. Опыт показывает, что прочность бетона в большинстве случаев при сроке эксплуатации в несколько десятков лет может повышаться по сравнению с отпускной прочностью на 50%–100%. Это повышение неоднократно фиксировалось при обследовании сооружений. Фактическое повышение прочности во времени в подавляющем большинстве случаев оказывается больше, чем теоретическое, рассчитанное по современным нормам.

грузоподъемности используются следующие актуальные нормативные документы: ТКП 45-3.03-232 [1], ТКП 479 [2], ТКП 45-3.03-60 [3]. Несущая способность балок со смешанным и каркасным армированием значительно отличается даже при расчете по прочности. В таблице 1 приведены предельные изгибающие моменты и усилия от постоянных и временных нагрузок. Данные параметры приводятся в виде диапазонов, поскольку зависят от конкретных условий (прочности бетона, шага балок, положения балки в поперечном сечении, толщины конструктивных слоев покрытия ездового полотна, конструкции мостового полотна, конструкции огра-

жений в балке определенного значения, а именно по 9.5.4 [1] допускается достижение растягивающих напряжений до значений, при которых начинается трещинообразование в растянутой зоне. Для цельноперевозимых конструкций со смешанным армированием это напряжение не должно превышать удвоенного расчетного сопротивления растяжению бетона при расчете по II-й группе предельных состояний –  $2R_{bt,ser}$ . В связи с этим при обследовании существующих конструкций с такими балками одной из основных характеристик является фактическая прочность бетона. Опыт показывает, что прочность бетона в большинстве случаев при сроке эксплуатации в несколько десятков лет может повышаться по сравнению с отпускной прочностью на 50%–100%. Это повышение неоднократно фиксировалось при обследовании сооружений. Фактическое повышение прочности во времени в подавляющем большинстве случаев оказывается больше, чем теоретическое, рассчитанное по современным нормам.

Анализ результатов определения грузоподъемности эксплуатируемых мостовых сооружений с пролетными строениями из тавровых балок дли-

Анализ результатов определения грузоподъемности эксплуатируемых мостовых сооружений с пролетными строениями из тавровых балок дли-

Таблица 1

Наименование параметра	Вариант армирования			
	ПМП 86.15.12.000 (БГД)		ТП 3.503-14 (вып. 5 Союздорпроект)	
	Пролет длиной 12 м	Пролет длиной 15 м	Пролет длиной 12 м	Пролет длиной 15 м
Предельный момент по прочности, кН·м	1085–1090	1335–1360	1136–1149	1730–1760
Момент от постоянных нагрузок, кН·м	240–530	550–1240	240–530	550–1240
Момент от нагрузки А14, кН·м	0–800	0–1160	0–800	0–1160



ной 12 и 15 м на основании актуального подхода к оценке трещиностойкости балок позволяет сделать следующие выводы:

- грузоподъемность балок с каркасным армированием по трещиностойкости выше, чем по прочности, так как ширина раскрытия трещин 0,03 см практически недостижима при действии нормативных нагрузок на сооружении;

- для балок со смешанным армированием – растягивающее напряжение уровня  $2R_{н,ср}$  легко достигается в конструкции даже при нагрузках значительно ниже проектных, если на пролетном строении уложены дополнительные слои мостового полотна (покрытия) или имеет место широкое ездовое полотно (при проезде более двух полос нагрузки).

При определении грузоподъемности пролетных строений важным параметром является также толщина слоев ездового полотна. Это особенно важно именно для пролетных строений из балок со смешанным армированием, так как такие балки очень чувствительны к этому показателю и любые изменения в толщине слоев (прежде всего, покрытия) проезжей части существенно сказываются на значении грузоподъемности. Толщина слоев дорожной одежды определяется согласно 7.5.2 [2] и затем используется при определении (сборе) постоянных нагрузок на балки пролетного строения в расчетной схеме.

Анализ грузоподъемности пролетных строений из балок с каркасным армированием показывает, что пролетные строения из таких балок имеют довольно высокую грузоподъемность, часто превышающую действующие значения нормативных нагрузок – А14 и НК-112. Даже при значительных толщинах слоев ездового полотна грузоподъемность сооружения остается на достаточном уровне, при этом грузоподъемность по трещиностойкости таких балок всегда выше, чем по прочности.

Для балок со смешанным армированием картина совсем другая. Грузоподъемность по прочности едва достигает проектных нагрузок А11 и НК-80, на которые они были запроектированы, и это при условии, что толщина слоев ездового полотна менее 25 см. Грузоподъемность по трещиностойкости для большинства балок со смешанным армированием оказывается ниже проектных значений и находится в пределах классов А8–А9, а при повышенной, по сравнению с проектной, толщине покрытия она может быть еще ниже.

Хотя в дальнейшем была проведена работа по усовершенствованию ПМП и в последующих сериях ПМП Государственного предприятия «Белгипродор» класс грузоподъемности по трещиностойкости был доведен до А11 и НК-80, такое ограничение грузоподъемности все равно привело сначала к сокращению, а затем и к полному отказу от применения тавровых балок со смешанным армированием по ПМП Белгипродора при строительстве мостовых сооруже-

ний. Тем не менее, было построено несколько сотен сооружений с балками подобного типа, которые в настоящее время находятся в эксплуатации.

Визуально определить тип тавровых балок пролетных строений длиной 12 и 15 м в большинстве случаев невозможно, так как они практически не отличаются и имеют одинаковые типоразмеры по причине того, что балки со смешанным армированием часто изготавливались в опалубке балок с каркасным армированием по типовому проекту серии 3.503-14 (выпуск 5 Союздорпроекта). Кроме того, даже при наличии проектной документации на мостовое сооружение необходимо очень внимательно отнестись к вопросу идентификации балок пролетных строений длиной 12 и 15 м. В некоторых сооружениях возможно несоответствие типов балок проекту из-за того, что во время строительства могла произойти корректировка проекта с заменой балок с каркасным армированием на балки того же типоразмера, но со смешанным армированием, по причине того, что именно этот тип балок в конкретное время был в наличии на заводе ЖБМК в г. Фаниполе. Корректировка в такой ситуации могла быть отражена только в исполнительных чертежах, а в экземпляре проектной документации, который находится в архиве Белгипродора, этого может и не быть. Поэтому очень важным и актуальным вопросом при определении грузоподъемности таких мостовых сооружений является фактическая идентификация типа балок с уточнением типа армирования. Данные, занесенные в систему «Белмост», также не всегда являются достоверными и должны быть проверены при специальном обследовании. Причина этого несоответствия заключается в том, что первичное заполнение системы «Белмост» производилось в сжатые сроки, к сбору данных для нее было привлечено большое число исполнителей. Многие из этих исполнителей не имели достаточного опыта обследования и неверно идентифицировали подобные балки. При последующих плановых диагностиках внесенные первичные параметры практически никогда не изменялись, так как для структуры СУСМ «Белмост» это и не требуется и состав армирования балок существенного значения не имеет. СУСМ «Белмост» имеет, в основном, статистическую и информационную направленность и может быть использована только при подготовке к специальному обследованию.

Как показывает опыт, идентификацию балок при натурном обследовании сооружения можно провести при осмотрах торцов балок по наличию оголенных анкеров преднапряженной арматуры либо с помощью приборов обнаружения металлических включений в толще бетона. Такими приборами можно отследить фактическое расположение арматуры в зонах, где армирование каркасных и преднапряженных балок отличается. В качестве такого прибора при выполнении данного исследования использовался прибор «Поиск 2.1»



**Рисунок 2 – Определение положения арматуры прибором «Поиск 2,5»**

(рис. 2). При обследовании мостовых сооружений с пролетными строениями из тавровых балок длиной 12 и 15 м встречались случаи несоответствия типа балок по проекту типу балок в реальных эксплуатируемых сооружениях. Когда возникают сомнения, необходимо уточнять тип армирования вышеописанным методом.

Как показывают результаты оценки технико-эксплуатационного состояния мостовых сооружений с пролетными строениями из тавровых балок длиной 12 и 15 м, балки с каркасным армированием являются

более надежными («живучими») по сравнению с балками со смешанным армированием. Так, например, на одном из сооружений нижняя зона балки пролетного строения была повреждена в результате удара негабаритным транспортным средством (рис. 3). Моделирование работы поврежденной крайней балки с каркасным армированием с помощью ПК MIDAS CIVIL (рис. 4) позволило сделать следующие выводы:

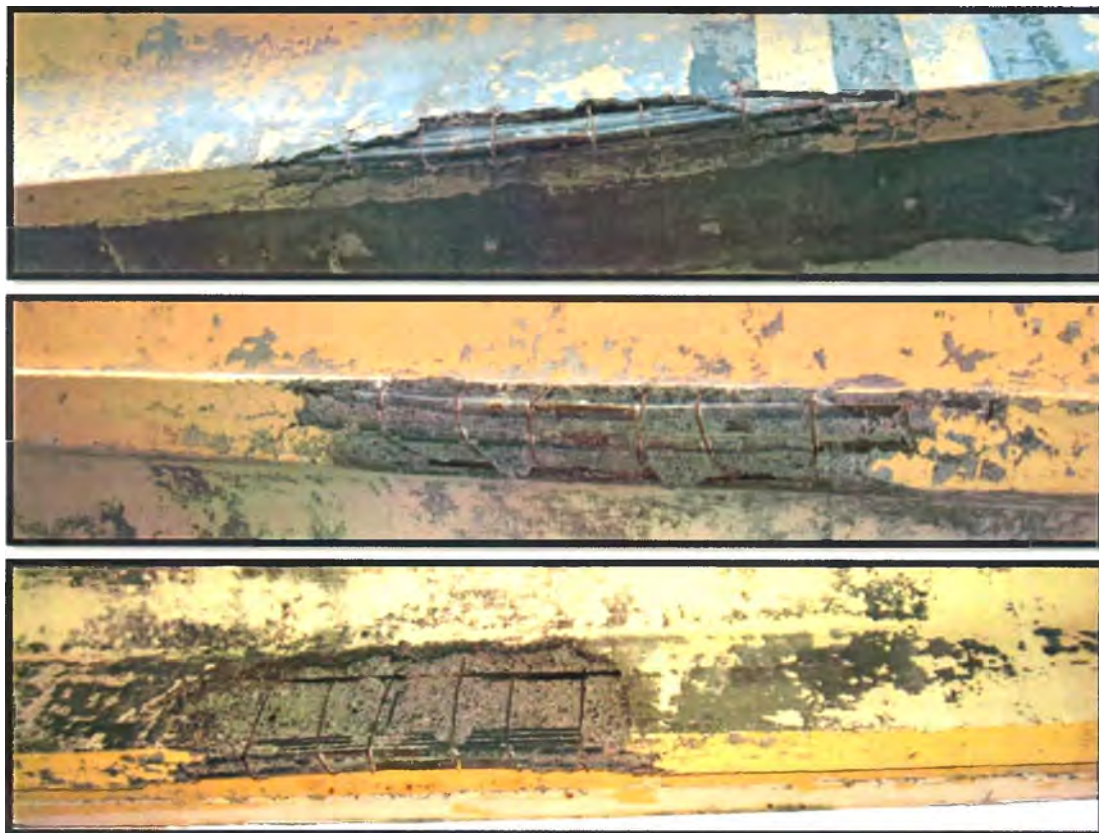
- оставшаяся (неповрежденная) арматура и бетон верхней части балки создают пару сил, необходимую для работы балки (бетон – на сжатие, арматура – на растяжение); бетон в средней части балки, который получил повреждение, в расчете не учитывался;

- в результате получена грузоподъемность поврежденного пролетного строения близкая к А14 и НК-112 даже при максимальном учете разрушений.

При анализе грузоподъемности пролетного строения с поврежденной крайней балкой со смешанным армированием получены следующие результаты:

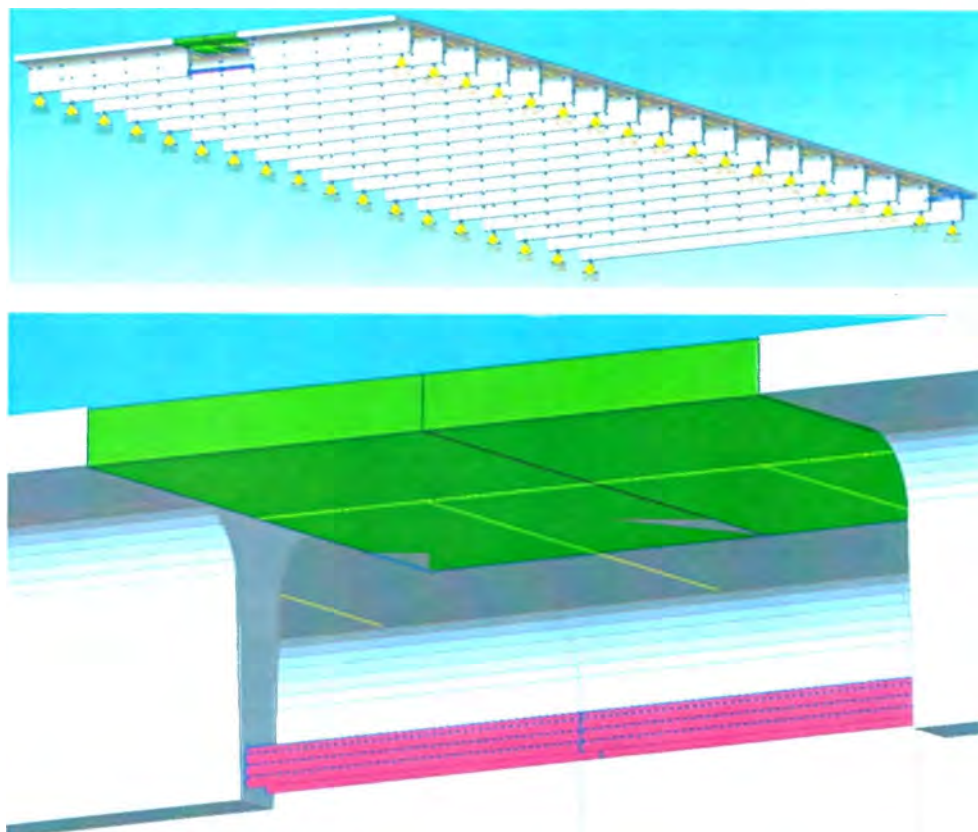
- при ударе негабаритным транспортным средством был разорван один из двух пучков преднатянутой арматуры и разрушена каркасная рабочая арматура балки;

- грузоподъемность такой балки значительно упала, так как по пространственной схеме балка перестала нести даже свой вес и стала дополнительной нагрузкой на соседние балки;



**Рисунок 3 – Повреждение крайней балки ударом негабаритного транспортного средства, соответственно, фасад балки, низ балки, внутренняя сторона балки**





**Рисунок 4 – Моделирование работы поврежденной крайней балки с каркасным армированием с помощью ПК MIDAS CIVIL**

- в результате грузоподъемность этого сооружения, которая и так была невысокой, по причине повреждения крайней балки снизилась практически в 2 раза.

#### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

При проведении обследования или диагностики мостовых сооружений с пролетными строениями из тавровых балок длиной 12 и 15 м одна из первоочередных решаемых задач – это идентификация балок пролетных строений с целью уточнения типа армирования для последующего определения грузоподъемности пролетных строений и анализа технико-эксплуатационного состояния сооружения в целом. Особое внимание следует уделять определению фактической постоянной нагрузки на сооружении, фактической прочности бетона неразрушающими методами, фактического шага балок, габарита мостового полотна, ширины полос безопасности.

В составе пролетных строений длиной 12 и 15 м тавровые балки со смешанным армированием являются гораздо худшими с точки зрения работы по I и II группам предельных состояний, чем аналогичные балки с каркасным армированием.

В перспективе тавровые балки со смешанным армированием в опалубке балок с каркасным армированием по типовому проекту серии 3.503-14 (выпуск 5 Союздорпроекта) лучше не применять, так как по рас-

положению арматуры, по усилиям форма является неоптимальной для преднапряженного и смешанного армирования.

При выявлении недостаточной грузоподъемности пролетных строений из балок со смешанным армированием и необходимости доведения грузоподъемности до уровня нагрузок А14 и НК-112 требуется усиление данных балок. Возможными вариантами усиления являются:

- устройство монолитной накладной плиты, включенной в совместную работу с главными балками;
- превращение разрезной конструкции в неразрезную систему;
- усиление нижней зоны балок углепластиковой преднапряженной арматурой.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Мосты и трубы. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-3.03-232-2011 (02250).
2. Правила определения грузоподъемности железобетонных и сталежелезобетонных балочных пролетных строений автодорожных мостов : ТКП 479-2013 (02191).
3. Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний : ТКП 45-3.03-60-2009 (02250).
4. Арматура ненапрягаемая для железобетонных конструкций. Технические условия : СТБ 1704-2012.

*Статья поступила в редакцию 15.05.2017.*