

СТРОИТЕЛЬСТВО И ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДОРОГ

УДК 624.21.001.6

Л. Н. Морозова, канд. тех. наук, В. В. Пархоменко, В. М. Бушева, Е. Е. Заика

Автомобильно-дорожный институт

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГАБАРИТОВ БАЛОЧНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ

Выполнена оценка влияния количества балок в сечении и расстояния между ними на поперечное распределение нагрузки, а также влияние геометрических и прочностных характеристик бетона на несущую способность пролетных строений мостов. Составлены уравнения регрессии для определения оптимальных значений исследуемых критериев. Предложены рациональные схемы габаритов автодорожных мостов с оптимальным количеством элементов.

Ключевые слова: балка, габарит моста, пролетное строение, типовой проект, несущая способность

Введение

Одной из главных задач капитального строительства является повышение эффективности строительного производства, которое в свою очередь требует существенного повышения качества проектного исполнения решений железобетонных конструкций. Важную роль в решении этой задачи играет разработка методик и реализация программ и алгоритмов расчета железобетонных конструкций.

Актуальность работы определяется необходимостью оптимального проектирования автодорожных мостов с рациональными конструктивными схемами и эффективным использованием типовых конструкций элементов мостов.

Постановка проблемы

Оптимизация технических систем заключается в том, чтобы найти такую конструкцию, которая, например, обеспечивая достаточно высокую надежность, требовала бы минимум затрат на ее изготовление.

Типовое проектирование пользовалось популярностью в СССР. Унификация объемно-планировочных решений и конструктивных схем строительных конструкций является основой современного индустриального строительства и позволяет создавать серии экономичных типовых проектов для массового применения, вследствие чего снижаются сроки и стоимость строительства и повышается его качество. Типовые проекты являются основой стандартизации элементов конструкций и узлов их соединения.

Следует отметить, что к настоящему времени разработаны достаточно эффективные балочные пролетные строения с предварительно напряженной арматурой, для которых разработаны типовые проекты. Типовые проекты пролетных строений в достаточной мере соответствуют оптимальным конструктивным формам и армированию.

Интересной представляется задача создания рациональных конструктивных схем автодорожных мостов с определением оптимального количества типовых элементов и расстояния между ними для различных габаритов.

Анализ публикаций

Оптимальное проектирование автодорожных мостов с рациональными конструктивными схемами и использованием типовых конструкций элементов решается проектировщиком на основании нормативных документов и зависит от его опыта и уровня квалификации.

Типовое проектирование – это система разработки строительных проектов, основан-

ная на типизации конструкций или их фрагментов в целях многократного повторения в строительстве. Как показал анализ состояния типового проектирования [1], оно пользуется значительной популярностью в Украине, в частности, при проектировании автодорожных мостов широко используются типовые проекты пролетных строений. В России же пока предпочтение отдается индивидуальному проектированию с использованием монолитных конструкций. Возможно, это связано с тем, что после распада СССР большинство крупных заводов по изготовлению мостовых железобетонных конструкций осталось на территории Украины. Но вопрос о применении типового проектирования становится довольно острым и набирает популярность с каждым днем. Поэтому при определении рациональных схем габаритов мостов целесообразно использовать типовые пролетные строения.

Следует отметить, что при решении этой задачи возникает вопрос о возможности использования типовых проектов прошлых лет, в которых конструктивные элементы мостов были рассчитаны на старые проектные нормативные нагрузки Н-30 и НК-80. Поэтому представляет интерес определить возможность применения этих типовых проектов под современные нормативные нагрузки, установленные в Украине и Российской Федерации.

Цель исследования

Усовершенствование методики оптимального проектирования габаритов балочных железобетонных автодорожных мостов.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- оценка влияния количества балок в сечении и расстояния между ними на поперечное распределение нагрузки;
- оценка влияния геометрических и прочностных характеристик бетона на несущую способность пролетных строений железобетонных автодорожных мостов.

Основной материал

Для усовершенствования методики оптимального проектирования габаритов автодорожных мостов с определением оптимального количества балок и расстояния между ними был выбран расчетный метод М. Е. Гибшмана [2], для которого разработана программа на языке Delphi. Это компилируемый язык, с нормальными структурными конструкциями, пользовательскими типами данных.

Программа позволяет определять коэффициенты поперечной установки, изгибающие моменты в балках от временных нагрузок и несущую способность (предельный изгибающий момент).

Для определения оценки влияния количества элементов балочного пролетного строения и расстояния между ними на поперечное распределение нагрузки, а так же оценки влияния геометрических и прочностных характеристик бетона на несущую способность балок был выполнен вычислительный эксперимент.

Объектом исследования являлись типовые балочные пролетные строения с предварительно напряженной арматурой, соответствующие типовому проекту «Союздорпроект» серия 3.503-12 [3], длиной: 12 м, 15 м, 18 м, 21 м, 24 м, 33 м, 42 м, габаритами Г-8; Г-9,5; Г-10; Г-10,5; Г-11,5.

Исследовано влияние количества балок и расстояния между ними на коэффициент поперечной установки и несущую способность балок пролетного строения для разных габаритов мостов России и Украины.

Рассматривались варианты:

- для Г8 принималось число балок 4 или 5.
- для Г9 – число балок 4, 5 или 6.
- для Г10 – число балок 5, 6 или 7.
- для Г10,5 – число балок 5, 6 или 7.
- для Г11,5 – число балок 5, 6, 7 или 8.

Для габаритов Г10,5 + 2 × 1,5 и Г11,5 + 2 × 1,5 результаты исследований приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Значения коэффициента поперечной установки (КПУ) и несущей способности для Г10,5 + 2 × 1,5

Габарит моста	Кол-во балок, шт.	Ширина полки балки, м	Длина балки, м	КПУ _А	КПУ _{Аг}	КПУ _Г	КПУ _{НК}	Момент от временных нагрузок, кНм	Несущая способность, кНм	Запас прочности, %
Г10,5 + 2 × 1,5	5	2,5	18	0,616	0,717	0,644	0,447	3839	4098	6,3
Г10,5 + 2 × 1,5	6	2,1	18	0,512	0,597	0,535	0,371	3316	3600	7,8
Г10,5 + 2 × 1,5	6	2,2	18	0,503	0,587	0,522	0,364	3289	3607	9,6
Г10,5 + 2 × 1,5	6	2,3	18	0,495	0,578	0,509	0,357	3264	3614	9,7
Г10,5 + 2 × 1,5	6	2,4	18	0,487	0,569	0,497	0,350	3241	3619	10,4
Г10,5+2 × 1,5	7	2,0	18	0,419	0,490	0,428	0,301	2884	3592	19,7

Таблица 2 – Значения КПУ и несущей способности для Г11,5 + 2 × 1,5

Габарит моста	Кол-во балок, шт.	Ширина полки балки, м	Длина балки, м	КПУ _А	КПУ _{Аг}	КПУ _Г	КПУ _{НК}	Момент от временных нагрузок, кНм	Несущая способность, кНм	Запас прочности, %
Г11,5 + 2 × 1,5	6	2,4	18	0,562	0,656	0,551	0,276	3752	4093	8,4
Г11,5 + 2 × 1,5	6	2,5	18	0,553	0,646	0,537	0,272	3719	4098	9,1
Г11,5 + 2 × 1,5	7	2,1	18	0,478	0,558	0,466	0,235	3292	3600	8,6
Г11,5 + 2 × 1,5	7	2,2	18	0,47	0,549	0,554	0,232	3262	3607	9,6
Г11,5 + 2 × 1,5	7	2,3	18	0,462	0,541	0,442	0,228	3233	3614	10,4
Г11,5 + 2 × 1,5	8	2,0	18	0,405	0,474	0,474	0,200	2910	3592	19

Исходя из полученных результатов, можно сделать следующие выводы:

– при увеличении количества балок в поперечном сечении коэффициент поперечной установки уменьшается, запас прочности увеличивается. Так при увеличении количества балок на 2, запас прочности возрастает до 19 %;

– при одинаковом количестве балок в поперечном сечении с увеличением расстояния между ними коэффициент поперечной установки уменьшается незначительно. При увеличении расстояния между балками на 10 % коэффициент поперечной установки уменьшается на 0,7 %, запас прочности балок пролетного строения возрастает на 3–4 %.

Оценка влияния каждого из параметров выполнена ортогональным планированием эксперимента.

Получены функции отклика:

– для значений, полученных по нормативам Российской Федерации,

$$\hat{Y} = 6567,2 - 461,26X_1 - 41,53X_2, \quad (1)$$

где X_1 – уровень факторов, количество балок;

X_2 – уровень факторов, расстояние между балками;

– для значений по нормативам Украины

$$\hat{Y} = 6306,53 - 492,01X_1 - 31,88X_2. \quad (2)$$

Согласно уравнениям (1, 2), весомое влияние на изменение поперечного распределения нагрузки имеет изменение количества балок.

Оптимальное количество балок в поперечном сечении и расстояния между ними приведены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 – Оптимальное количество элементов в поперечном сечении и расстояние между ними для габаритов мостов по нормативам РФ

Габарит моста	Количество элементов, шт.	Расстояние между элементами, м	Значение КПУ
Г8 + 2 × 0,75	4	2,3	0,699
Г8 + 2 × 1,0	4	2,4	0,692
Г10 + 2 × 0,75	5	2,2	0,719
Г10 + 2 × 1,5	5	2,5	0,693
Г11,5 + 2 × 0,75	5	2,5	0,825
Г11,5 + 2 × 1,0	6	2,2	0,678
Г11,5 + 2 × 1,5	6	2,4	0,656

Таблица 4 – Оптимальное количество элементов в поперечном сечении и расстояние между ними для габаритов мостов по нормативам Украины

Габарит моста	Количество элементов, шт.	Расстояние между элементами, м	Значение КПУ
Г9 + 2 × 0,75	4	2,5	0,832
Г9 + 2 × 1,0	5	2,1	0,669
Г10,5 + 2 × 0,75	5	2,2	0,752
Г10,5 + 2 × 1,0	5	2,3	0,656
Г10,5 + 2 × 1,5	5	2,5	0,717

Также была выполнена оценка влияния прочностных характеристик бетона на несущую способность балки пролетного строения. В результате исследования выяснено:

- влияние на несущую способность балок пролетного строения прочностных характеристик бетона незначительно;
- несущая способность балок типового проекта [3] на восприятие современных нагрузок обеспечивается только при совместной работе балок и накладной плиты.

Выводы

На основании выполненных исследований получены следующие выводы:

1. При увеличении количества балок в поперечном сечении коэффициент поперечной установки уменьшается, запас прочности увеличивается, так при увеличении на 2 балки запас прочности возрастает до 20 %.
2. При одинаковом количестве балок в поперечном сечении с увеличением расстояния между ними коэффициент поперечной установки уменьшается незначительно. При увеличении расстояния между балками на 10 % коэффициент поперечной установки уменьшается на 0,7 %, запас прочности балок пролетного строения возрастает на 3–4 %.
3. Влияние расчетного сопротивления бетона и ширины полки балки на несущую способность пролетного строения незначительно.
4. Несущая способность балок типового проекта 3.503-12 [3] на восприятие современных нагрузок обеспечивается только при совместной работе балок и накладной плиты.
5. Определено оптимальное количество балок в поперечном сечении и расстояние между ними для разных габаритов мостов.

Предлагается:

- при проектировании балок пролетного строения использовать класс бетона, указанный в типовом проекте;
- для обеспечения несущей способности балок пролетного строения при проектировании необходимо учитывать требования нормативных документов [4, 5, 6] и использовать монолитную накладную плиту высотой 12 см – для России, и 14 см – для Украины.

Список литературы

1. Морозова, Л. Н. Типовые проекты – инструмент единой технической политики / Л. Н. Морозова, Е. Е. Заика // Научно-технические аспекты развития автотранспортного комплекса 2020 : материалы VI Международной научно-практической конференции в рамках 6-го Международного научного форума Донецкой Народной Республики «Инновационные перспективы Донбасса: инфраструктурное и социально-экономическое развитие», 27 мая 2020 / редколлегия : М. Н. Чальцев [и др.]. – Горловка : АДИ ГОУ ВПО «ДОННТУ», 2020. – С. 92–94.
2. Гибшман, М. Е. Проектирование транспортных сооружений / М. Е. Гибшман, В. И. Попов. – Москва : Транспорт, 1988. – 448 с.
3. Типовые конструкции зданий и сооружений. Серия 3.503-12 «Унифицированные сборные пролетные строения из предварительно напряженного железобетона для мостов и путепроводов на автомобильных и городских дорогах» : вып. 19 / разработаны ГПИ «Союздорпроект». – Москва : Союздорпроект, 1975. – 118 с.
4. СП 35.13330.2011. Мосты и трубы : Министерство регионального развития Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 28 декабря 2010 г № 822 : введен в действие с 2011-05-20 / разработан ОАО «ЦНИИС». – Москва, 2011. – 346 с.
5. ДБН В.2.3-22:2009. Мости та труби. Основні вимоги проектування : державні будівельні норми України : затверджено і надано чинності Наказом Мінрегіонбуду України від 11.11.2009 № 484 : на заміну ДБН В.2.3-14:2006 : дата введення 2010-03-01 / розроблено Національним транспортним університетом. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 73 с.
6. ДБН В.1.2-15:2009. Мости та труби. Навантаження і впливи : державні будівельні норми України : затверджено і надано чинності Наказом Мінрегіонбуду України від 11.11.2009 № 484 : на заміну ДБН В.2.3-14:2006 : дата введення 2009-11-11 / розроблено Національним транспортним університетом. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – 71 с.

Л. Н. Морозова, В. В. Пархоменко, В. М. Бушева, Е. Е. Заика
Автомобильно-дорожный институт
ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Горловка
Усовершенствование методики оптимального проектирования габаритов балочных
железобетонных автодорожных мостов

Рассмотрено оптимальное проектирование автодорожных мостов с рациональными конструктивными схемами и эффективным использованием типовых конструкций элементов мостов.

Детально рассмотрен вопрос создания рациональных конструктивных схем автодорожных мостов с определением оптимального количества типовых элементов и расстояния между ними для различных габаритов.

Даны результаты по оценке влияния количества балок в сечении и расстояния между ними на поперечное распределение нагрузки, а также по оценке влияния геометрических и прочностных характеристик бетона на несущую способность пролетных строений железобетонных автодорожных мостов.

Составлены уравнение регрессии для определения оптимальных значений исследуемых критериев. Предложены рациональные схемы габаритов автодорожных мостов с оптимальным количеством элементов для Украины и Российской Федерации.

БАЛКА, ГАБАРИТ МОСТА, ПРОЛЕТНОЕ СТРОЕНИЕ, ТИПОВОЙ ПРОЕКТ, НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ

L. N. Morozova, V. V. Parkhomenko, V. M. Busheva, E. E. Zaika
Automobile and Road Institute of Donetsk National Technical University, Gorlovka
Improvement of the Technique for the Optimal Design of the Dimensions of Reinforced-Concrete
Beam Road Bridges

This article deals with the problem of the optimal design of road bridges with rational structural schemes and effective use of typical structures of bridge elements.

The issue of creating rational design schemes for road bridges with the determination of the typical elements optimal number and the distance between them for various dimensions is considered in detail.

Results on the influence assessment of the beams number in the section and the distance between them on the transverse load distribution, and also on the influence assessment of the concrete geometric and strength characteristics on the bearing capacity of the reinforced concrete road bridges spans are given.

The regression equation to determine the optimal values of the studied criteria is compiled. The rational schemes of the road bridges dimensions with the optimal number of elements for Ukraine and the Russian Federation are proposed.

BEAM, BRIDGE DIMENSION, SPAN, TYPICAL DESIGN, BEARING CAPACITY

Сведения об авторах:

Л. Н. Морозова

Телефон: +38 (071) 412-71-06

Эл. почта: most_ln@mail.ru

В. В. Пархоменко

Телефон: +38 (071) 301-98-56

Эл. почта: viktor-parkhomenko88@rambler.ru

В. М. Бушева

Телефон: +38 (071) 336-75-80

Статья поступила 20.07.2021

© Л. Н. Морозова, В. В. Пархоменко, В. М. Бушева, Е. Е. Заика, 2021

Рецензент: Т. В. Скрыпник, канд. техн. наук, доц., АДИ ГОУВПО «ДОННТУ»