

**ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО-  
НАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК  
ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОДОРОЖНЫХ МОСТОВ**

**А. П. Иванова, О. И. Труфанова, А.Н. Чумак**

ГВУЗ «Национальный горный университет»

просп. Карла Маркса, 19, г. Днепропетровск, 49000, Украина.

E-mail: ivaso94@mail.ru; olga.trufanova.90@mail.ru; redoctober1@mail.ru

Анализируется техническое состояние мостов на дорогах общего пользования. Рассмотрены виды конструкций пролетных строений мостов. Изложены основные конструктивные параметры балок, методика их изготовления и испытания. Проведено сравнение типовых и унифицированных железобетонных предварительно-напряженных балок. Обосновано их применение для автодорожных мостов. Показаны результаты испытания балок, на основании которых оценивались их прочность, жесткость и трещиностойкость.

**Ключевые слова:** автодорожные мосты, сборно-монолитные конструкции, железобетонные балки.

**ОПТИМАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ПОПЕРЕДНЬО-НАПРУЖЕНИХ  
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК ДЛЯ БУДІВНИЦТВА  
АВТОДОРОЖНИХ МОСТІВ**

**А. П. Иванова, О.И. Труфанова, А. Н. Чумак**

ДВНЗ «Національний гірничий університет»

просп. Карла Маркса, 19, м Дніпропетровськ, 49000, Україна.

E-mail: ivaso94@mail.ru; olga.trufanova.90@mail.ru; redoctober1@mail.ru.

Аналізується технічний стан мостів на дорогах загального користування. Розглянуто види конструкцій прогонових будов мостів. Викладені основні конструктивні параметри балок, методика їх виготовлення та випробування. Проведено порівняння типових і уніфікованих залізобетонних попередньо-напружених балок. Обґрунтовано їх застосування для автодорожніх мостів. Показані результати випробування балок, на підставі яких оцінювалися їх міцність, жорсткість і тріщиностійкість.

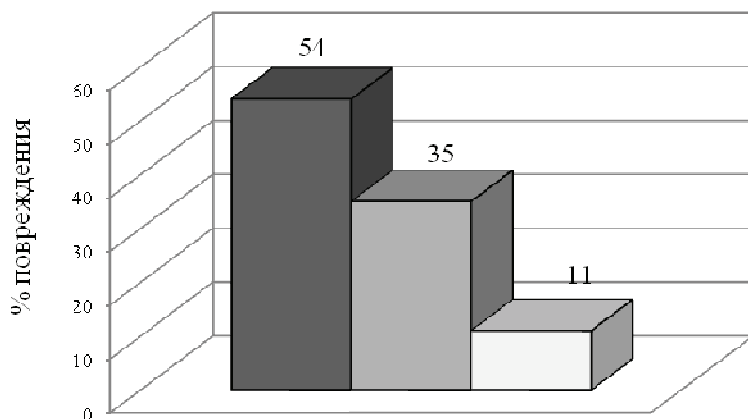
**Ключові слова:** автодорожні мости, збірно-монолітний тип конструкцій, залізобетонні балки.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Актуальной задачей современного строительства является повышение качества и надежности конструкций с минимизацией их стоимости при соблюдении прочностных и конструктивных требований. Одним из основных путей решения этой задачи является выявление и использование всего потенциала несущих свойств материала, из которого изготавливается та или иная конструкция. В современных реалиях особенно актуальной становится проблема рационального проектирования (снижение веса и себестоимости, увеличение полезной нагрузки) предварительно напряженных железобетонных балок для автодорожных мостов [1, 2].

Существующие типовые проекты мостовых балок не рассчитаны на возросшую нагрузку. Поэтому необходимо разрабатывать новые подходы к проектированию и производству балочных элементов мостовых конструкций, что и определило цель данной работы.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** Автодорожные мосты являются важнейшими составляющими транспортной инфраструктуры Украины. Закрытие моста вследствие аварии или необходимости срочного ремонта приводит к значительным экономическим и социальным убыткам. В процессе эксплуатации мостовых сооружений происходит ухудшение их технического состояния, а также снижение функциональных свойств, к которым относят: грузоподъемность, пропускную способность, безопасность движения, долговечность, а также архитектурную выразительность [3].

Согласно оценкам экспертов в Украине, на дорогах общего пользования в настоящее время более 54 %, а на коммунальных дорогах более 72 % мостов полностью или частично не соответствуют предъявляемым к ним требованиям действующих нормативных документов по грузоподъемности и габаритам. На сегодняшний день значительное количество автодорожных мостов требуют капитального ремонта или реконструкции. На рис. 1 показано техническое состояние дорог общего пользования в Украине, 11 % которых, согласно ДБН В.2.3.–14:2006 «Мосты и трубы–правила проектирования», требуют срочного капитального ремонта или реконструкции [1].



- не удовлетворяют требованиям ДБН В.2.3. 14:2006 «Мосты и трубы - правила проектирования»;
- удовлетворяют требованиям ДБН В.2.3. 14:2006 «Мосты и трубы - правила проектирования»;
- требуют срочной реконструкции или ремонта

Рисунок 1 – Состояние автомобильных дорог состоянию на 2012 год

Согласно действующим отечественным нормативам проектный срок службы железобетонных мостов должен составлять 80–100 лет. В то же время, данные статистического анализа показывают, что реальный средний срок службы таких мостов в Украине составляет 35–50 лет, т.е. значительно меньше установленных нормами [4].

Заданный срок эксплуатации обеспечивается соблюдением нормативных и конструктивных требований. Но необходимо учесть, что в настоящее время на балочные мостовые конструкции усиливается внешнее негативное влияние. Поэтому разработка новых подходов к проектированию балочных элементов мостов – важная практическая задача.

По требованиям Государственных строительных норм по проектированию мостов пролетные строения должны изготавливаться монолитными либо сборно-монолитными. Наиболее рациональной для мостов малых и средних пролетов является сборно-монолитная конструкция, а именно: сборные железобетонные балки и монолитная плита проезжей части, укладываемая на эти балки (рис. 2).

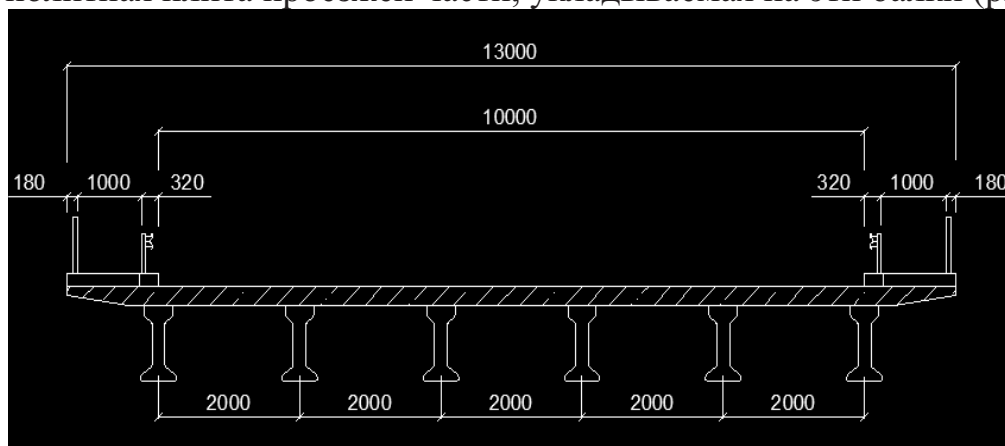


Рисунок 2 – Поперечный разрез моста со сборно-монолитным типом конструкций

Исторически сборно-монолитные конструкции появились позднее, чем другие. Например, в Англии П. Абелесом в 1940–1942 г. было предложено конструкции плит и балок с частичным напряжением, состоявшие из двух частей: нижней – растянутой предварительно напряженной и верхней – ненапрягаемой. Основной особенностью сборно-монолитных конструкций является то, что ранее изготовленные, предварительно напряженные элементы, образуют нижнюю поверхность конструкции, и при укладке монолитного бетона служат опалубкой. С 1949 г. в Англии такие конструкции начали использоваться при реконструкции плитных пролетных строений мостов. Широкое распространение в США получили сборно-монолитные конструкции в виде ребристых балочных разрезных мостов. Балки устанавливаются на некотором расстоянии между собой и объединяются монолитной плитой проезжей части. В основном применяют балки двутаврового сечения. Во Франции построены мосты с пролетами 20–30 м, пролетные строения которых состоят из тавровых предварительно напряженных балок, объединенных монолитной плитой проезжей части [2, 5].

Основная идея производства сборно-монолитных изделий заключается в том, что наиболее ответственные и трудоемкие элементы изготавливаются промышленным путем на заводах, а менее сложные элементы, в частности плиты – на месте. Предварительное напряжение рабочей арматуры железобетонных балок, как основных несущих элементов пролетного строения, технологически проще

выполнить на заводах, нежели на строительной площадке. Сборные элементы при этом служат частично опалубкой для укладки конструкций из монолитного бетона, который после набора прочности связывает сборные элементы в единую рабочую систему. Использование принципа сборно-монолитной конструкции обеспечивает надежность и долговечность мостовых конструкций, уменьшает расход материалов, повышает экономичность в использовании.

В Украине существует незначительное количество типовых решений сборно-монолитных пролетных строений мостов, которые бы отвечали требованиям надежности и долговечности. Кроме того, все типовые проекты сборных балок мостов, которые действовали до сих пор, не рассчитаны на такой высокий уровень нагрузки согласно новым ДБН. Таким образом, возникает необходимость в создании иной концепции для разработки новых типов конструкций, либо усовершенствования уже существующих.

В связи с вышесказанным, в Украине было освоено производство железобетонных балок с сечением так называемого европейского типа. Они изготавливаются на специальном стенде, что приводит к необходимости создания индивидуальной опалубки [6]. Увеличение размеров опалубки требует дополнительных затрат и площади, что не всегда удобно. ГосдорНИИ разработал новые железобетонные балки Б (1500–3300).(100–120), пролетами 15, 18, 21 и 33 м (рис. 3), которые относятся к типу сборно-монолитных и рассчитаны на нагрузки в соответствии с нормами [7].

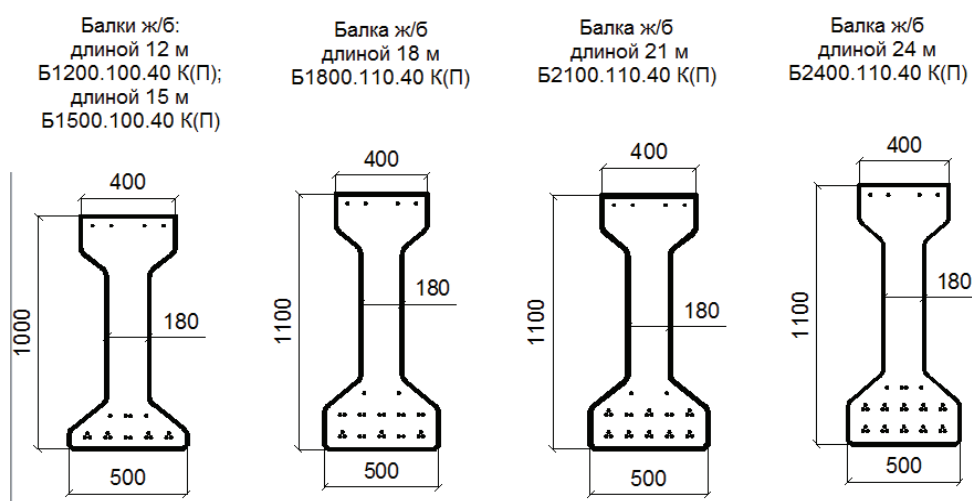


Рисунок 3 – Унифицированные железобетонные предварительно-напряженные балки длиной 12–33 м

Армирование балок производят предварительно-напряженными канатами типа К–7, бетонирование – тяжелым бетоном класса В40, по морозостойкости F200, по водонепроницаемости W6. Производство балок размещено на заводе железобетонных изделий ЗАО «Мостройкомплект» в г. Днепропетровск.

Для изготовления балок разработан специальный стенд (рис. 4), в опалубке которого можно варьировать длину балок (до 33 м) и высоту (1,0–1,2 м, на нем же испытывались данные балки).

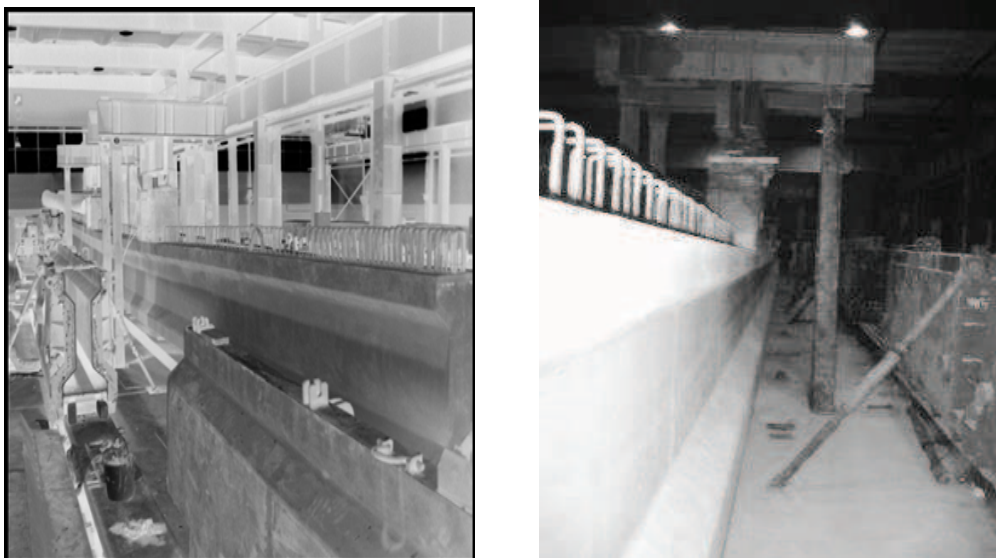


Рисунок 4 – Общий вид универсального стенда для испытания балок

Основным преимуществом этих балок является их масса, которая в 1,85–2 раз меньше, чем вес типовых балок (рис. 5).

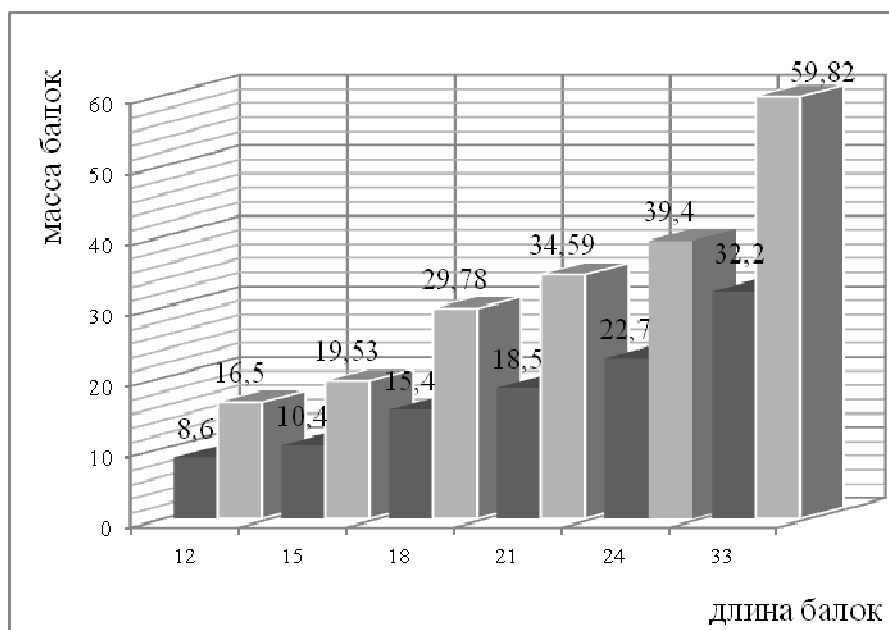


Рисунок 5 – Сравнение массы балок ЗАО «Мостстройкомплект» и типового проекта 3.5031-81

В качестве примера рассмотрим испытания балок длиной 18 м и 21 м. Испытывались балки на действие изгибающей нагрузки на специально обустроенном стенде в соответствии со стандартом [3]. Для моделирования действия нагрузки, каждая балка устанавливалась в проектное положение (рис.6 а,б). Нагрузка прикладывалась статически. При испытании фиксировались значения изгибающего момента  $M$  и поперечная сила  $Q$ . По результатам испытаний оценивались прочность, жесткость и трещиностойкость изделия. Величины испытательных нагрузок на балку приведены в табл. 1.

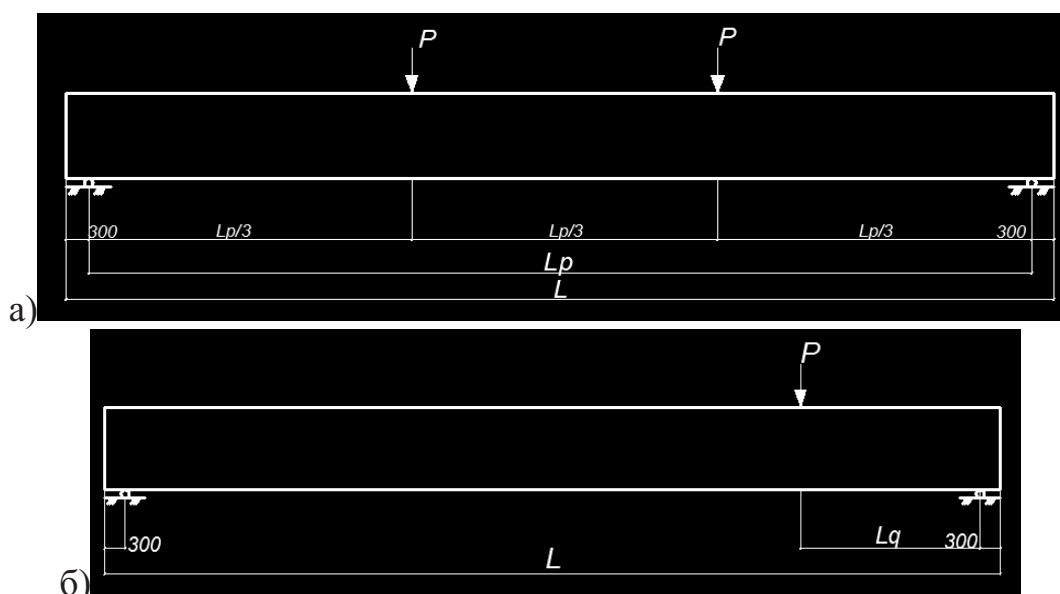


Рисунок 6 – Схемы испытания балок:

а – фиксировалось значение изгибающего момента;

б – фиксировалось значение поперечной силы

Загружение балок производилось ступенями по 10–15 % от предполагаемой разрушающей нагрузки и. На каждом этапе сразу после приложения нагрузки делали 15-минутную выдержку. После достижения максимального уровня нагрузки выдержка составляла 30 минут. Во время выдержки на каждой ступени нагружения записывались показания приборов, отмечались трещины и измерялась ширина их раскрытия, проводился визуальный осмотр балки. Величины максимальных испытательных нагрузок на балку приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Сравнение контрольных и расчетных нагрузок при испытании балок

Испытания при действии	Контрольная нагрузка на балку, кН		Расчетная нагрузка на балку, кН	
	18 м	21 м	18 м	21 м
изгибающего момента	543,4	469,4	546	475,6
поперечной силы	1064	1144	1070	1150

Анализ данных (табл. 1) показывает, что имеется небольшое превышение (0,5 – 1,3 %) расчетной нагрузки над контрольной. Из этого следует, что балки не теряют своих прочностных качеств при меньшей массе.

Схема расположения индикаторов при испытании балок для измерения относительных деформаций по высоте балки на действие изгибающего момента  $M$  и поперечной силы  $Q$  приведена на рис. 7.

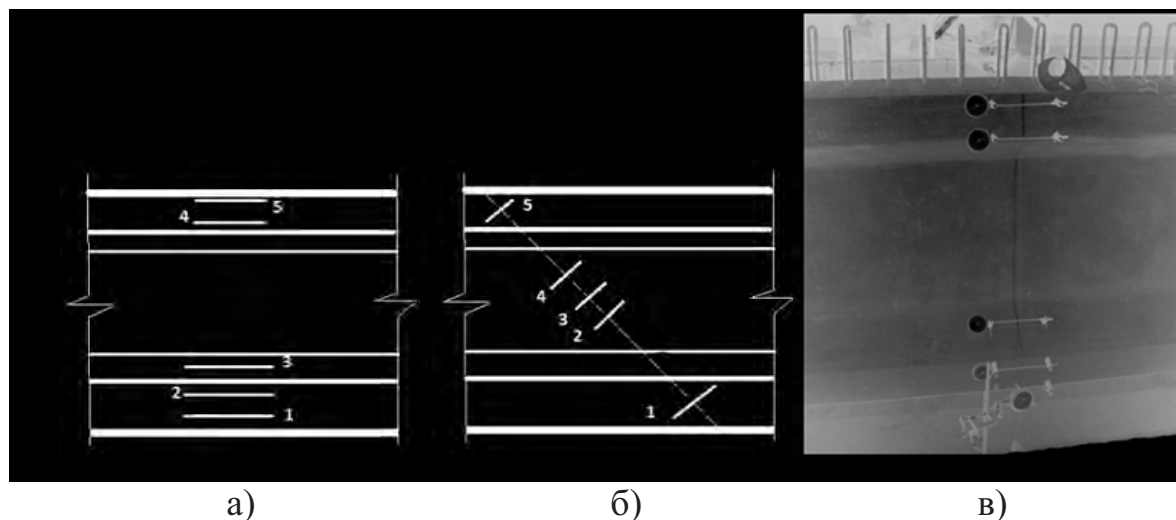


Рисунок 7 – Расположение индикаторов на базе 200мм при испытании балок:  
 а) схема расположения при испытании на действие изгибающего момента;  
 б) схема расположения при испытании на действие поперечной силы;  
 в) фото расположение при испытании на действие изгибающего момента балки

**ВЫВОДЫ.** Балки типа Б (1800, 2100).110.40 длиной 18 м и 21 м изготовлены с соблюдением всех необходимых требований действующих норм. Испытания показали способность балок выдерживать действующие нагрузки, при этом масса балок примерно в два раза меньше по сравнению с типовыми.

При испытании балок Б1800.110.50 и Б2100.110.50 на действие изгибающего момента разрушение балок произошло по сечению бетона сжатой зоны при нагрузке 546 и 475,6 кН, что выше соответствующего значения контрольной нагрузки. При испытании на действие поперечной силы при достижении нагрузки 1070 и 1150 кН, что больше соответствующих контрольных значений нагрузки, балки не разрушились. При испытании на изгибающий момент при контрольных нагрузках в балке Б1800.110.50 трещины не образовались, а в балке Б2100.110.50 ширина раскрытия трещин составила 0,05 мм, что меньше контрольного значения на 0,15 мм. При испытании на поперечную силу при контрольных нагрузках в балках трещины отсутствовали. Жесткость балок достаточная для восприятия расчетных нагрузок, фактический прогиб при контрольной нагрузке составил 20 и 12 мм, что меньше контрольных значений 43 и 35 мм.

По технико-экономическим показателям конструкция балок является конкурентоспособной для использования в мостостроении.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ковальчук В.В. Состояние и проблемы обеспечения долговечности пролетных строений мостов // Сборник научных трудов ДониЖТ. – Донецк: ДониЖТ, 2012. – Вып. 32/2012.– С. 226–234.
2. Свапнил Д. Оценка характеристики предварительно-напряженного бетона // Международный журнал исследований в области инженерных технологий и управления. - Том 2, Вып. 3/Март 2014. – С. 1-4. – Режим доступа: [www.ijretm.com/paper/volume\\_2-issue\\_3/IJRETM-2014-02-03-442.pdf](http://www.ijretm.com/paper/volume_2-issue_3/IJRETM-2014-02-03-442.pdf).

3. Белый А.А. Об эксплуатации железобетонных мостов и путепроводов Санкт-Петербурга: сборник научных трудов 61 Международной научно-технической конференции молодых ученых «Актуальные проблемы современного строительства». – Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2008. – С. 12–19.

4. Бородай Д.И. Прогноз долговечности проектируемых железобетонных мостов: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.23.01 – ДоННАСА, Макеевка, 2013.– 7с.

5. Коваль П.М., Фаль А.Є., Стоянович С.В. Эффективные конструкции железобетонных сборно-монолитных пролетных строений автодорожных мостов с использованием предварительно-напряженных балок // Вестник университета "Львовская политехника". – Львов: ЛУ ЛП, 2013. – Вып.664/2010. – С. 44-52.

6. Коваль П.М., Бабяк В.П., Ковальчик Я.И., Горба М.Б. Сборные железобетонные предварительно напряженные балки автодорожных мостов // Вестник Национального университета "Львовская политехника". – Львов: ЛУ ЛП, 2013. - Вып. 755/2013. - С. 184-188.

7. ГСН В.2.3-14: 2006 Государственные строительные нормы Украины. Мосты и Трубы. Правила проектирования. – Госстрой Украины, 2006. – 356 с.

### OPTIMAL DESIGNING PRESTRESSED CONCRETE BEAMS FOR ROAD BRIDGE CONSTRUCTION

**A. Ivanova, O. Trufanova, A. Chumak**

National Mining University

prosp. Karl Marx, 19, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49000.

E-mail [ivaso94@mail.ru](mailto:ivaso94@mail.ru); [olga.trufanova.90@mail.ru](mailto:olga.trufanova.90@mail.ru); [redoctober1@mail.ru](mailto:redoctober1@mail.ru).

Analyze the technical condition of bridges on public roads. The types of structures bridge spans. The basic design parameters of the beams, the method of their manufacture and testing. A comparison of standard and unified reinforced concrete prestressed beams. Justified their use for highway bridges. The results of the test beams on which to assess their strength, toughness and crack resistance.

**Key words:** road bridges, precast with cast-in-place type construction, reinforced concrete beams.

### REFERENCES

1. Kovalchuk, V.V. (2012) “State and problems of durability bridge spans”, Transactions of Donetsk Railway Transport Institute, Iss.32, pp.226–234.

2. SWAPNIL, J. (2014) “To study on structural performance of precast concrete”, International Journal of Research in Engineering Technology and Management, vol. 2, Iss. 3, pp. 1–4, available at: [www.ijretm.com/paper/volume\\_2-issue\\_3/IJRETM-2014-02-03-442.pdf](http://www.ijretm.com/paper/volume_2-issue_3/IJRETM-2014-02-03-442.pdf).

3. Belyiy, A (2008) “On the operation of concrete bridges and overpasses St. Petersburg”, Aktualnyie problemyi sovremennogo stroitelstva [Actual problems of modern construction. Proceedings of the 61 th International Scientific Conference of Young Scientists], Sankt-Peterburg, SPbGASU, 2008, pp.12–19.

4. Boroday, D.I. (2013) “The forecast projected durability of reinforced concrete bridges”, Abstract for Cand. Sc. (Engineering), 05.23.01, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, Makeevka, Ukraine.



5. Koval, P.M., Fal, A.E. and Stoyanovich, S.V (2010) “Effective design of reinforced concrete prefabricated monolithic superstructures of highway bridges with prestressed beams”, Transactions of National University Lviv Polytechnic, Iss.664, pp. 44–52.

6. Koval, P.M., Babyak, V.P., Kovalchik, Ya.I. and Gorba, M.B (2013) “Precast concrete prestressed beams highway bridges”, Transactions of National University Lviv Polytechnic, Iss.755, pp. 184–188.

7. State building codes Ukraine. Bridges and pipes. design rules. (GSN V.2.3-14: 2006) - Gosstroy Ukrainyi, 2006.

Стаття надійшла 17.12.2014.

УДК 622.257.1

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЗОЛЫ-УНОСА НА ПРОЧНОСТНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОРОДОБЕТОНА**

**В. В. Коваленко, В. С. Гаркуша, П. А. Бакум**

ГВУЗ «Национальный горный университет»

просп. Карла Маркса, 19, г. Днепропетровск, 49005, Украина.

E-mail: kovalenko\_vlad@mail.ru, vitaliagarkusha@yandex.ua, zkk-site@yandex.ua

Исследована возможность применения пустой породы в качестве крупного заполнителя для торкрет-бетонных смесей, используемых при креплении горизонтальных выработок угольных шахт. Подобраны оптимальные, с позиций прочности бетона, гранулометрический состав породного заполнителя и соотношение компонентов для приготовления торкрет-бетонных смесей на основе пустой породы. Исследовано влияние золы-уноса на прочностные показатели торкрет-бетонных смесей на основе пустой породы. Приведены рекомендации относительно оптимального количества золы-уноса в составе торкрет-бетонной смеси. Сделаны выводы о возможности использования полученного материала.

**Ключевые слова:** торкрет-бетон, пустая порода, зола-унос, прочность при сжатии, прочность на изгиб.

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗОЛИ-ВИНОСУ НА ПОКАЗНИКИ МІЦНОСТІ ПОРОДОБЕТОНУ**

**В. В. Коваленко, В. С. Гаркуша, П. А. Бакум**

ДВНЗ «Національний гірничий університет»

просп. Карла Маркса, 19, м. Дніпропетровськ, 49005, Україна.

E-mail: kovalenko\_vlad@mail.ru, vitaliagarkusha@yandex.ua, zkk-site@yandex.ua

Досліджено можливість використання пустої породи як крупного заповнювача для торкрет-бетонних сумішей, що використовуються при кріпленні горизонтальних виробок вугільних шахт. Підбрано оптимальний з позицій міцності бетону гранулометричний склад породного заповнювача і співвідношення компонентів для приготування торкрет-бетонних сумішей на основі пустої породи. Досліджено вплив золи-виносу на показники міцності торкрет-бетонних сумі-