

6. Kodur V. Properties of concrete at elevated temperatures. *ISRN Civil Engineering*. 2014, vol. 2014, pp. 468510. DOI: 10.1155/2014/468510.
7. Khoury G. A. Effect of fire on concrete and concrete structures. *Progress in Structural Engineering and Materials*. 2000, no. 2 (4), pp. 429-447. DOI: 10.1002/pse.45.
8. Phan L. T., Carino N. J. Effects of test conditions and mixture proportions on behavior of high-strength concrete exposed to high temperatures. *ACI Materials Journal*. 2002, no. 1 (99), pp. 54-66.
9. Chan S. Y. N., Peng G. F., Anson M. Residual strength and pore structure of high-strength concrete and normal-strength concrete after exposure to high temperatures. *Cement and Concrete Composites*. 1999, no. 1 (21), pp. 23-27.
10. Fedorov V. S., Levitsky V. E., Isaeva E. A. Basic principles in the theory of force and thermal force resistance of concrete. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*. 2022, no. 6 (18), pp. 584-596.
11. Levitskii V. E. Deformativnie kharakteristiki nagruzhennogo betona pri nestatsionarnom nagreve. *Stroitelstvo i rekonstruktsiya*. 2024, no. 1, pp. 64-77.
12. Bentz D. P., Peltz M. A., Duran-Herrera A., Valdez P., Juarez C. A. Thermal properties of high-volume fly ash mortars and concretes. *Journal of Building Physics*. 2011, no. 3 (34), pp. 263-275.
13. Kim K. H., Jeon S. E., Kim J. K., Yang S. An experimental study on thermal conductivity of concrete. *Cement and Concrete Research*. 2003, no. 3 (33), pp. 363-371.
14. SP 50.13330.2012. *Teplovaya zashchita zdaniy. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 23-02-2003* [Thermal protection of buildings. Updated version of SNIp 23-02-2003.]. Moscow: Minregion Rossii; 2012.
15. Zhang B., Poon C. S. Use of furnace bottom ash for producing lightweight aggregate concrete with thermal insulation properties. *Journal of Cleaner Production*. 2015, no. 99, pp. 94-100.
16. Wang L., Aslani F. Modelling of thermal conductivity of lightweight concrete. *Construction and Building Materials*. 2020, no. 262, pp. 120870. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2020.120870.
17. Fedorov V. S., Asmalovskii D. R. Eksperimentalnaya otsenka ognestoikosti szhatikh elementov iz legkogo visokoprochnogo betona dlya zdaniy i sooruzhenii transportnogo kompleksa. *Moskovskii transport. Nauka i proektirovanie*. 2025, no. 1 (1), pp. 33-42.
18. Kupchikova N. V. Chislennoe modelirovanie nasipei transportnikh sooruzhenii s uchetom slabogo podstilayushchego sloya. *Moskovskii transport. Nauka i proektirovanie*. 2025, no. 1 (1), pp. 43-54.
19. Demirboga R., Gül R. The effects of expanded perlite aggregate, silica fume and fly ash on the thermal conductivity of lightweight concrete. *Cement and Concrete Research*. 2003, vol. 33 (5), pp. 723-727.
20. Ünal O., Uygunoğlu T., Yildiz A. Investigation of thermal conductivity of lightweight concrete containing expanded perlite. *Journal of Thermal Science and Technology*. 2017, vol. 37 (1), pp. 45-52.
21. Carslaw H. S., Jaeger J. C. *Conduction of heat in solids*. 2nd ed. Oxford: Clarendon Press; 1959. 510 p.
22. Fedorov V. S., Levitskii V. E., Asmalovskii D. R. Planirovanie eksperimenta po otsenke ognestoikosti szhatikh elementov iz legkogo visokoprochnogo betona [Planning an experiment to assess the fire resistance of compressed elements made of lightweight high-strength concrete]. *Inzhenerno-stroitel'nyi vestnik Prikaspiya* [Caspian Engineering and Construction Bulletin]. 2025, no. 1 (51), pp. 23-28. DOI: 10.52684/2312-3702-2025-51-1-23-28.
23. Fedorov V. S., Levitskii V. Ye. Spetsifika reaktsii betona na vozdeistvie visokoi temperature [Specificity of concrete reaction to high temperature]. *Stroitelstvo i rekonstruktsiya* [Construction and Reconstruction]. 2025, no. 6, pp. 47-59.
24. Kočí J., Maděra J., Černý R. Thermal properties of lightweight concrete with recycled aggregates at elevated temperatures. *AIP Conference Proceedings*. 2018, no. 1 (1988), pp. 020018. DOI: 10.1063/1.5047628.

© В. С. Федоров, Д. Р. Асмаловский, В. Е. Левитский

#### Ссылка для цитирования:

Федоров В. С., Асмаловский Д. Р., Левитский В. Е. Экспериментальная оценка теплопроводности легкого высокопрочного бетона // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2026. № 2 (56). С. 81-86.

УДК 624.21.036.6

DOI 10.52684/2312-3702-2026-56-2-86-93

## ЭКОНОМИЧНОЕ ПРОЛЕТНОЕ СТРОЕНИЕ МОСТА С ЭФФЕКТИВНЫМИ ПРОЛЕТАМИ

**А. В. Макаров, Д. В. Ивасик, А. А. Васильченко**

**Макаров Александр Владимирович** кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство и эксплуатация транспортных сооружений», Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация; e-mail: pr.makarov@mail.ru;

**Ивасик Дмитрий Владимирович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство и эксплуатация транспортных сооружений», Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация, тел.: + 7 (903) 370 03-24; e-mail: jvc777@inbox.ru;

**Васильченко Анжелика Алексеевна**, старший преподаватель кафедры «Строительство и эксплуатация транспортных сооружений», Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Российская Федерация, тел.: + 7 (903) 370-03-29; e-mail: t766om@gmail.com

В нашей стране в последнее десятилетие стало больше строиться транспортных развязок, мостов, путепроводов, эстакад. Ранее путепроводы строились из сборного железобетона и были неразрезной системы, с советских времен был принят курс на развитие строительства из готовых конструкций. В неразрезных системах изгибающие моменты в пролетах меньше, чем в разрезных. В статье показано на основе расчетов, что одинаковые по длине пролеты не обеспечивают равномерное распределение изгибающих моментов. Проведенные исследования показали, что одинаковые опорные изгибающие моменты возникают в неразрезной балке при равномерно распределенной нагрузке постоянной и полной временной, когда крайние пролеты имеют конкретное соотношение к длине средних пролетов. Получены ко-

эффиценты длины крайних пролетов, что является новизной для пятипролетного моста. Используя эффективное соотношение пролетов моста, пролетное строение можно рассматривать как одинаковые блоки двух видов, объединенных в сечениях минимальных моментов. Изготовление одинаковых блоков упрощает технологию.

**Ключевые слова:** неразрезная система моста, пятипролетный мост, путепровод, опорные моменты, пролетные моменты, унификация блоков, эффективный пролет, коэффициент длины пролета.

## ECONOMICAL BRIDGE SPAN STRUCTURE WITH EFFICIENT SPANS

*A. V. Makarov, D. V. Ivasik, A. A. Vasilchenko*

**Makarov Aleksandr Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of “Construction and Operation of Transport Facilities” Department, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation; e-mail: pr.makarov@mail.ru;

**Ivasik Dmitriy Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Construction and Operation of Transport Facilities” Department, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation, phone: + 7 (903) 370-03-24; e-mail: jvc777@inbox.ru;

**Vasilchenko Anzhelika Alekseyevna**, Senior Lecturer of “Construction and Operation of Transport Facilities” Department, Volgograd State Technical University, Volgograd, Russian Federation, phone: + 7 (903) 370-03-29; e-mail: t766om@gmail.com

In our country, in the last decade, more traffic junctions, bridges, overpasses, and overpasses have been built. Previously, overpasses were built from prefabricated reinforced concrete and were a continuous system; since Soviet times, a course was adopted to develop construction from ready-made structures. In continuous systems, bending moments in spans are less than in split ones. The article shows, based on calculations, that spans of equal length do not provide a uniform distribution of bending moments. The studies have shown that the same supporting bending moments occur in a continuous beam under a uniformly distributed load, when the outer spans have a specific ratio to the length of the middle spans. The length coefficients of the outermost spans were obtained. Using the effective ratio of bridge spans, the span structure can be considered as identical blocks of two types, combined in sections of minimum moments. Manufacturing identical blocks simplifies the technology.

**Keywords:** continuous bridge system, five-span bridge, overpass, supporting moments, span moments, unification of blocks, effective span, span length coefficient.

### Введение

Транспортная инфраструктура России в последнее время существенно меняется. Правительство выделяет большие финансовые средства на дорожное и мостовое строительство. С развитием транспортных коммуникаций требуются все новые мостовые сооружения – мосты, путепроводы, эстакады. Больше внимание стали уделять безопасности и бесперебойности движения, а для этого необходимо организовать движение в разных уровнях. Проектируются и строятся новые железнодорожные и автодорожные путепроводы, которые наряду с безопасностью обеспечивают снижение выбросов продуктов выхлопов автомобилей [1]. Совершенствуются Узлы, детали и элементы мостов, призванные улучшить транспортно-эксплуатационные характеристики пролетных строений [4]. В последние десятилетия все большую популярность приобретает строительство путепроводов, эстакад из монолитного железобетона. Ранее при использовании сборного железобетона длины пролетов назначались

в соответствии с принятой модульной сеткой. В соответствии с такой сеткой заводами МЖБК выпускались балки пролетных строений размерами 9, 12, 15, 18, 21, 24, 33, 42 м из обычного и предварительно напряженного железобетона [15]. Подобные пролетные строения рассчитывались по известным и широко применяемым методикам [18, 19]. Изменять размеры балок, используя укороченную опалубку было либо невозможно, либо экономически нецелесообразно, так как стоимость изготовления таких конструкций значительно больше стандартных.

Строить мосты с одинаковыми по длине пролетами технологически проще, так как используются балки одной марки, одно оборудование и одинаковые методы монтажа. Так поступают при строительстве разрезных балочных мостовых сооружений. Однако работает такая статическая схема не совсем удачно из-за неравномерного распределения изгибающих моментов в пролетах. Можно добиться более эффективной работы пролетного строения, если применить неразрезную систему и изменить длины пролетов.



Рис. 1. Мост через реку Полота [источник: <https://gorod214.by/new/9956>]  
Fig. 1. Bridge over the Polota Rive [source: <https://gorod214.by/new/9956>]

В последние десятилетия большее внимание стали уделять строительству из монолитного железобетона, а также мостам цельнометаллическим и сталежелезобетонным. Такие мосты по статической схеме стали неразрезными. В неразрезных пролетах изгибающие моменты меньше, чем в разрезных такой же длины за счет действия отрицательных моментов. Неразрезные балочные мосты возможно проектировать с одинаковыми пролетами.

**Метод**

Для определения изгибающих моментов в пролетном строении составим следующие уравнения. Нагрузку рассмотрим равномерно распределенную как наиболее существенную в мостах. Равномерно распределенная нагрузка это и постоянная нагрузка и полная временная тележечная, которая приводится к эквивалентной распределенной. Для решения поставленной задачи используем известное уравнение для неразрезных систем одинаковой жесткости:

$$M_{n-1}l_n + 2M_n \cdot (l_n + l_{n+1}) + M_{n+1} \cdot l_{n+1} = -6(B_n^\phi + A_{n+1}^\phi).$$

Запишем выражения для 2 и 3 опоры исследуемой балки при поставленных выше условиях:

$$2M_2 \cdot 2l + M_3 \cdot l = -6 \left( \frac{g(l)^3}{24} + \frac{gl^3}{24} \right);$$

$$M_2 \cdot l + 2M_3 \cdot 2l + M_4 \cdot l = -6 \left( \frac{g(l)^3}{24} + \frac{gl^3}{24} \right);$$

$$M_3 \cdot l + 2M_4 \cdot 2l + M_5 \cdot l = -6 \left( \frac{g(l)^3}{24} + \frac{gl^3}{24} \right);$$

$$M_4 \cdot l + 2M_5 \cdot 2l = -6 \left( \frac{g(l)^3}{24} + \frac{gl^3}{24} \right).$$

Решая уравнения получим значения опорных отрицательных моментов, а затем и пролетных моментов в серединах пролетов (рис. 2).

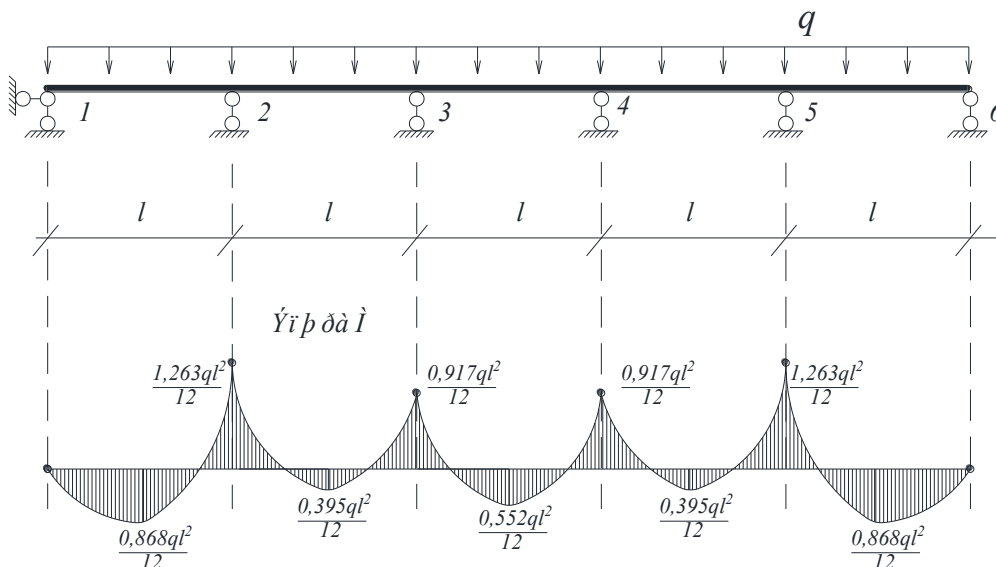


Рис. 2. Распределение изгибающих моментов в неразрезной балке при равных пролетах (иллюстрация авторов)  
 Fig. 2. Distribution of bending moments in a continuous beam for equal spans (illustration by the authors)

Результат показывает сколь неравномерно распределены изгибающие моменты в балке пролетного строения. Отрицательные моменты в разных опорах отличаются на 38 %, а положительные крайних и средних пролетах на 47 %. Известно, что, уменьшая крайние пролеты неразрезной плети примерно до  $(0.7-0.8) \cdot l$ , можно уменьшить разброс в значениях изгибающих моментов [16]. Исследования для трехпролетных и четырехпролетных неразрезных путепроводов опубликованы [5-8]. Опорные изгибающие моменты во второй и пятой опорах не только не равны другим опорным моментам, но превышают их на 30 %. Большие моменты возникают в крайних пролетах и, если уменьшить эти пролеты, тогда получим лучшее распределение моментов по всей длине неразрезной плети.

**Результаты и обсуждения**

Лучшее распределение изгибающих моментов в пролетном строении – это равенство опорных моментов, а также равенство всех

пролетных моментов. В таком случае пролеты проектируются одинаково независимо от длины. Потребуем, чтобы все опорные моменты были одинаковыми.

$$M_1 = M_2 = M_3 = M_4 = M_5 = M.$$

Используем тоже уравнение, приведенное выше. Тогда система разрешающих уравнений примет вид:

$$2M \cdot (nl + l) + M \cdot l = -\frac{g(l)^3}{4} (n^3 + 1);$$

$$6M \cdot l = -\frac{g(l)^3}{2};$$

$$6M \cdot l = -\frac{g(l)^3}{2};$$

$$M \cdot l + 2M \cdot (l + nl) = -\frac{g(l)^3}{4} (n^3 + 1).$$

Решая уравнения относительно неизвестной  $n$ , получим  $n = 0.8165$ . Таким образом, при величине крайних пролетов равных  $0.8165l$  изгибающие моменты в опорных сечениях будут одинаковы (рис. 3).

**Новизна и актуальность**

Полученный результат является новизной в расчетах мостов неразрезных систем. Ранее

были получены авторами подобные результаты для трехпролетных и четырехпролетных неразрезных путепроводов. Как выяснилось в результате расчетов количество пролетов имеет значение. У других авторов были опубликованы лишь приблизительные значения коэффициентов крайних пролетов безотносительно

к количеству пролетов. При проектировании мостовых сооружений учет полученных значений позволит формировать пролетное строение из одинаковых соответствующих нагрузке блоков, что позволит получить экономичное пролетное строение. Использование экономичных с точки зрения технологии конструкций всегда будет актуальной задачей исследований.

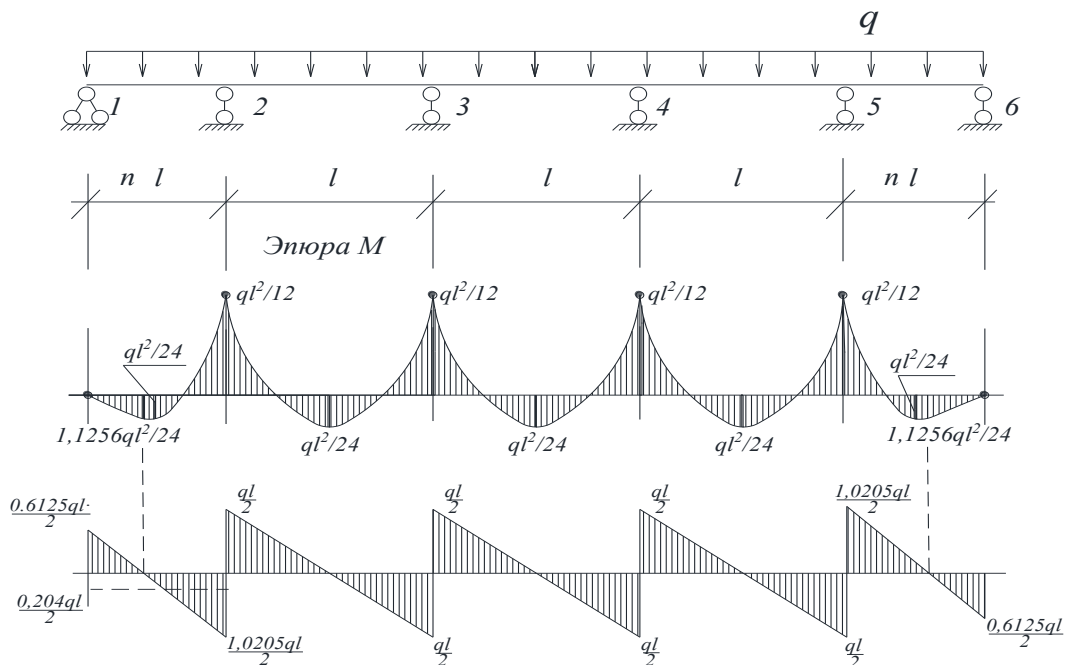


Рис. 3. Распределение изгибающих моментов в неразрезной балке при крайних пролетах равных 0.8165l (иллюстрация авторов)

Fig. 3. Distribution of bending moments in a continuous beam with extreme spans equal to 0.8165l (illustration by the authors)

Анализируя полученные результаты, отметим:

- 1) опорные изгибающие моменты во всех опорных сечениях одинаковы;
- 2) пролетные изгибающие моменты в срединных сечениях всех пролетов тоже одинаковы;
- 3) пролетные моменты в срединных сечениях в 2 раза меньше моментов в опорных сечениях;
- 4) максимальные моменты в крайних пролетах находятся не в срединных сечениях и на 12,5 % больше максимальных моментов в других пролетах.

На рисунке 4 представлен железобетонный автомобильный путепровод разрезной балочной системы. В крайних пролетах здесь размещаются откосы насыпи и не требуют больших размеров. Такой путепровод можно запроектировать неразрезным из монолитного железобетона или цельнометаллическим. При этом пролетное строение будет экономичным и за счет неразрезной конструкции, при которой уменьшаются действующие изгибающие моменты и за счет эффективных пролетов.



Рис. 4. Путепровод с уменьшенными крайними пролетами

[источник: <https://resbash.ru/news/transport/2024-07-15/v-bashkirii-otremontiruyut-216-kilometrov-fonyaschih-dorog-3849130>]

Fig. 4. Overpass with reduced extreme spans

[source: <https://resbash.ru/news/transport/2024-07-15/v-bashkirii-otremontiruyut-216-kilometrov-fonyaschih-dorog-3849130>]

Для дальнейшего улучшения распределения изгибающих моментов зададим условия равенства симметричных моментов, то есть  $M_2 = M_5 = M$ ,  $M_3 = M_4 = M'$ . Составим 2 уравнения для симметричной системы.

$$2M \cdot (nl + l) + M' \cdot l = -\frac{g(l)^3}{4} (n^3 + 1);$$

$$M \cdot l + 5M' \cdot l = -\frac{g(l)^3}{2}.$$

Так как уравнений меньше неизвестных зададим  $M = 0.95M'$ , тогда уравнения примут вид:

$$2 \cdot 0.95M' \cdot (nl + l) + M' \cdot l = -\frac{g(l)^3}{4} (n^3 + 1);$$

$$0.95M' \cdot l + 5M' \cdot l = -\frac{g(l)^3}{2}.$$

Решая систему, получим:

$$M' = M_4 = -\frac{1.008gl^2}{12};$$

$$M = M_3 = -\frac{0.958gl^2}{12}.$$

Коэффициент длины крайних пролетов  $n = 0.778$ , величины крайних пролетов путепровода составят  $0.778 \cdot l$ .

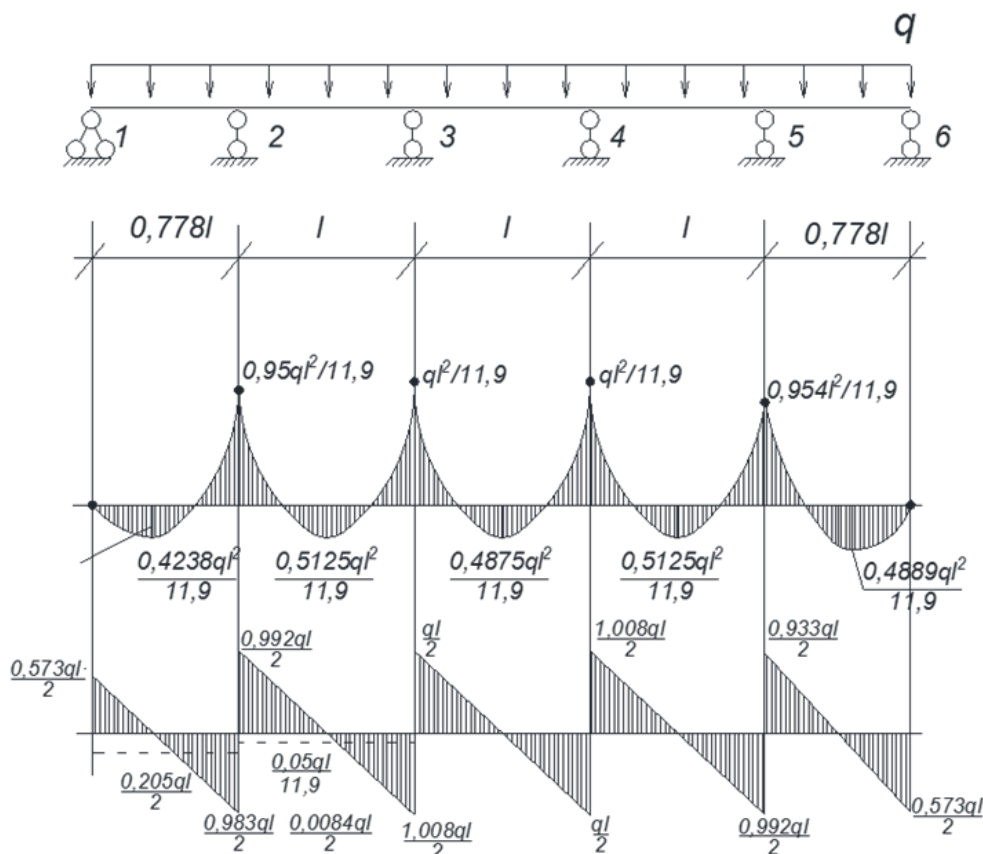


Рис. 5. Распределение изгибающих моментов и поперечных сил в неразрезной балке при крайних пролетах равных  $0.778l$  (иллюстрация авторов)

Fig. 5. Distribution of bending moments and shear forces in a continuous beam with extreme spans equal to  $0.778l$  (illustration by the authors)

Для сравнения полученных результатов сведем значения изгибающих моментов в таблицы. Опорные изгибающие моменты представлены в таблице 1. Для сравнения значения изгибающих моментов приведены к общему знаменателю.

Значения пролетных изгибающих моментов представлены в таблице 2, их величины приведены к общему знаменателю. Здесь сведены пролетные моменты трех пролетов, отличающиеся по величине.

Таблица 1

**Опорные изгибающие моменты**

№ п/п	Схемы пролетного строения	Значения опорных изгибающих моментов $\frac{gl^2}{12}$		
		на опоре 2	на опоре 3	% различия
	1			
1	Схема 1. Одинаковые пролеты	1.263	0.917	38
2	Схема 2. Одинаковые опорные моменты	1.0	1.0	0
3	Схема 3. С большим моментом на средней опоре	0.958	1.008	4.9



Таблица 2

**Значения пролетных изгибающих моментов**

№ п/п	Схемы пролетного строения	Значения пролетных изгибающих моментов $\frac{gl^2}{12}$			
		в 1 пролете	во 2 пролете	в 3 пролете	% различия
	1	2	3	4	5
1	Схема 1. Одинаковые пролеты	0.868	0.395	0.552	48
2	Схема 2. Одинаковые опорные моменты	0.5628	0.5	0.5	11.0
3	Схема 3. С большим моментом на средней опоре	0.493	0.5168	0.4916	4.8

Анализируя полученные значения изгибающих моментов в таблицах 1 и 2 можно заключить, что наиболее эффективным является схема 3 неразрезного пролетного строения с пятью пролетами, с коэффициентом длинны крайних пролетов  $n = 0,778$ . Различия в значениях изгибающих опорных и пролетных моментах не превышает 5 % в своей группе.

**Заключение**

Как отмечалось выше, в путепроводах из сборного железобетона не могут быть реализованы предложения, полученные от приведенных исследований, так как пролеты в них определяются стандартами сборных балок. А монолитные железобетонные неразрезные пролетные строения, а также цельнометаллические и сталежелезобетонные путепроводы вполне могут быть запроектированы в соответствии с полученными результатами проведенных исследований. В неразрезной плети опоры можно установить в нужных местах, обеспечивая равномерность распределения изгибающих моментов. В пролетном строении по схеме 3 можно выделить две группы участков: первая группа – участки с отрицательными моментами, значения которых различаются менее чем на 5 %, вторая группа – участки пролетных моментов, также различающиеся менее чем на 5 %. Таким образом, пятипролетный путепровод будет состоять из 4 одинаковых секций, рассчитанных на отрицательный изгибающий момент  $-\frac{1.008gl^2}{12}$ , и 5 одинаковых секций, рассчитанных на положительный изгибающий момент  $\frac{0.5125gl^2}{12}$ , то есть всего два типа секций.

Такие секции и пролетное строение в целом выполняются из монолитного предварительно напряженного железобетона. Расчет пролетных строений ведется как известными методами [2, 11, 20], так и новыми методами, показавшими свою эффективность [9, 10, 12, 13]. В последнее время все шире используются моделирование работы несущих конструкций, Бим-технологии и Искусственный Интеллект [14, 17]. Красивые и удобные мосты играют не последнюю роль в архитектурном ансамбле города, повышая качество городской среды [3].

**Выводы**

1. В неразрезных балочных пролетных строениях возможно так назначать размеры пролетов, чтобы действующие опорные моменты принимали одинаковые или близкие значения.
2. Равенство значений действующих опорных моментов требует соотношения пролетов  $1/0.8165$ , при этом пролетные моменты в средних пролетах равны, а в крайних пролетах максимальные моменты увеличены на 12.5 %.
3. Близкие по значениям опорные моменты, отличающиеся не более чем на 5 %, а пролетные моменты во всех пролетах так же отличающиеся на 5 % друг от друга реализуются при соотношении пролетов –  $1/0.778$ .
4. Действие одинаковых или близких по величине опорных и пролетных изгибающих моментов в балках пролетного строения моста позволяет использовать унифицированные блоки при проектировании и строительстве неразрезных путепроводов, что снижает издержки.
5. Пятипролетный путепровод с коэффициентом длинны крайнего пролета 0.778 имеет 2 вида унифицированных блоков. Объединение блоков производится в сечениях с минимальными изгибающими моментами.

**Список литературы**

1. Балакин В.В., Сидоренко В.Ф., Сурков Г.О. и др. Снижение негативного воздействия транспорта на жилую среду градостроительными средствами. Международный научно-исследовательский журнал. - 2017. - № 3 (57), ч. 2. - С. 136-140.
2. Белуцкий И.Ю., Марухин Б.А. Вопросы проектирования железобетонного предварительно напряженного пролетного строения. Хабаровск. 2009. с. 3-30.
3. Калиновский С. А., Макаров А. В., Гурова Д. А., Шестопапов И. В. Роль мостов в повышении качества городской среды и создании архитектурного ансамбля города // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2022. № 1 (39). С. 90–94.
4. Макаров А. В., Васильченко А. А., Магомедов Х. И. Роль опорных частей в долговременной работе мостов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2023. № 4 (46). С5-8.
5. Макаров А.В., Калиновский С.А. Унификация в проектировании четырехпролетных неразрезных мостов // Вестник гражданских инженеров. - 2021. - № 3 (86). - С. 120-126.
6. Макаров А.В., Калиновский С.А. Economical reinforced concrete overpass. Graphical method of calculation. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 962: International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS 2020) (6-12 September 2020, Sochi, Russia). – [IOP Publishing], 2020. – 7 p. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/962/2/022051/pdf>.
7. Макаров А.В., Калиновский С.А. Design features of bimetallic bridges. E3S Web of Conferences. Vol.: 97. XXII International Scientific Conference «Construction the Formation of Living Environment» (FORM-2019) (Tashkent, Uzbekistan, April

18-21, 2019) / eds.: A. Volkov [et al.]. - [Publisher: EDP Sciences], 2019. - 9 p. - URL: [https://www.e3s-confer-en-ces.org/articles/e3sconf/pdf/2019/23/e3sconf\\_form2018\\_06001.pdf](https://www.e3s-confer-en-ces.org/articles/e3sconf/pdf/2019/23/e3sconf_form2018_06001.pdf).

8. Макаров А.В., Калиновский С.А., Ермилова Н.Ю., Чураков А.А. Optimal ratio of spans of continuous bridges. E3S Web of Conferences. Vol. 263. XXIV International Scientific Conference «Construction the Formation of Living Environment» (FORM-2021), Moscow, Russia, April 22-24, 2021 / eds.: P. Akimov [et al.]. - EDP Sciences, 2021. - 7 p. - DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126303001>. - URL: [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2021/39/e3sconf\\_form2021\\_03001.pdf](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2021/39/e3sconf_form2021_03001.pdf).

9. Макаров А.В., Калиновский С.А., Федорова В.С. Расчет конструкций мостов с применением метода динамического редуцирования // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. - 2022. - Вып. 1 (87). - С. 57-64.

10. Николаенко М.А., Минасов А.Г., Савинова Е.И. Новые методы проектирования железобетонных пролетных строений. Инженерный вестник Дона. 2017. №2 (45)

11. Определение напряженного состояния и динамических коэффициентов балочных мостов / И. С. Бондарь, Н. М. Махметова, М. Я. Квашнин, С. С. Хасенов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2023. № 4 (67). С. 92–100. DOI 10.52170/1815-9265\_2023\_67\_92.

12. Пшеничкина В.П., Махова С.И., Шубин М.А. и др. Динамический расчет балки на стохастическом линейно деформируемом полупространстве. Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. - 2011. - Вып. 25 (44). - С. 42-49.

13. Пшеничкина В.П., Рекунов С.С., Иванов С.Ю. и др. Сравнительный анализ результатов расчета системы «здание – основание», представленной в виде слоистой модели. // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. - 2023. - Вып. 1 (90). - С. 43-53.

14. Савина М. В. Использование искусственного интеллекта для оценки и контроля технического состояния зданий и сооружений // Инновационный потенциал развития общества: взгляд молодых ученых: сборник научных статей 4-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок. Курск, 2023. С. 404–408.

15. Саламахин П.А., Воля О.В., Лукин Н.П. и др. Под ред. Саламахина П.М. Мосты и сооружения на дорогах. Учеб. для вузов. В 2-х ч. Ч. 1. - М.: Транспорт. 1991. 448 с.

16. Саламахин П.А., Воля О.В., Лукин Н.П. и др. Под ред. Саламахина П.М. Мосты и сооружения на дорогах. Учеб. для вузов. В 2-х ч. Ч. 2. - М.: Транспорт. 1991. 448 с.

17. Скворцов А. В. Модели данных BIM для инфраструктуры // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2015. № 1 (4). URL: [https://www.cadgis.ru/2015/4/CADGIS-2015-1\(4\)-02.Skvortsov\(BIM-models-for-infra\).pdf](https://www.cadgis.ru/2015/4/CADGIS-2015-1(4)-02.Skvortsov(BIM-models-for-infra).pdf) (дата обращения: 25.05.2024).

18. Xiaoyan Shen. Bridge facility health detection method based on DATA random subspace // Results in Engineering. 2025. Vol. 26

19. Xin Yao. New prospects for designing bridge superstructure reinforcements: structural aspects // Structures. 2022. Vol. 45.

20. Zhou M., Lu W., Song J., Lee G. C. Application of ultra-high-performance concrete in bridge engineering // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 186. Pp. 1256—1267.

## References

1. Balakin V.V., Sidorenko V.F., Surkov G.O. i dr. Snigienie negativnogo vozdeystviya transporta na giluyu sredu gradostroitel'nimi sredstvami [Reducing the negative impact of transport on the living environment using urban planning means]. *Megdunarodniy nauchno- issledovatel'skiy gurnal* [International scientific research journal]. - 2017, no. 3 (57), part 2. - pp. 136-140.

2. Belutsky I.Yu., Marukhin B.A. Voprosi proektirovaniya zhelezobetonnoy predvaritel'nonapryazonnogo prolyetnogo stroeniya. [Issues in the design of reinforced concrete prestressed span structures]. *Khabarovsk*. 2009. p. 3-30.

3. Kalinovsky S. A., Makarov A. V., Gurova D. A., Shestopalov I. V. Rol mostov v povishenii kachestva gorodskoi sredi i sozdaniy arhitekturnogo ansamblya goroda. [The role of bridges in improving the quality of the urban environment and creating undefined architectural ensemble of the city] *Engenerno- stroitel'nii vestnik Prikaspiya. Nauchno- tehnikeskii gurnal. Astrahanskii gosudarstvennii arhitekturno- stroitel'nii universitet. Astrakhan*. [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region: scientific and technical journal Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering. Astrakhan: GAOU JSC VO "AGASU", 2022. no. 1 (39). pp. 90-94

4. Makarov A.V., Vasilchenko A.A., Magomedov Kh.I. Rol opornih chastei v dolgovremennoi rabote mostov [The role of supporting parts in the long-term operation of bridges]. *Engenerno- stroitel'nii vestnik Prikaspiya. Astrahanskii gosudarstvennii arhitekturno- stroitel'nii universitet* [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Sea scientific and technical journal. Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering. Astrakhan], 2023. no. 4 (46). pp 5-8.

5. Makarov A.V., Kalinovsky S.A. Unifikatsiya v proektirovanii chetiryohproletnih nerazrezannih mostov. [Unification in the design of four-span continuous bridges] *Vestnik grazdanskikh byzenerov*. [Bulletin of Civil Engineers]. - 2021. - no. 3 (86). - pp. 120-126.

6. Makarov A.V., Kalinovsky S.A. Economical reinforced concrete overpass. Graphical method of calculation. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 962: International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety (ICCATS 2020) (6-12 September 2020, Sochi, Russia). - [IOP Publishing], 2020. - 7 p. - URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/962/2/022051/pdf>.

7. Makarov A.V., Kalinovsky S.A. Design features of bimetallic bridges. E3S Web of Conferences. Vol.: 97. XXII International Scientific Conference "Construction of the Formation of Living Environment" (FORM-2019) (Tashkent, Uzbekistan, April undefined 18-21, 2019) / eds.: A. Volkov [et al.]. - [Publisher: EDP Sciences], 2019. - 9 p. - URL: [https://www.e3s-confer-en-ces.org/articles/e3sconf/pdf/2019/23/e3sconf\\_form2018\\_06001.pdf](https://www.e3s-confer-en-ces.org/articles/e3sconf/pdf/2019/23/e3sconf_form2018_06001.pdf).

8. Makarov A.V., Kalinovsky S.A., Ermilova N.Yu., Churakov A.A. Optimal ratio of spans of continuous bridges. E3S Web of Conferences. Vol. 263. XXIV International Scientific Conference "Construction of the Formation of Living Environment" (FORM-2021), Moscow, Russia, April 22-24, 2021 / eds.: P. Akimov [et al.]. - EDP Sciences, 2021. - 7 p. - DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126303001>. - URL: [https://www.e3s-confer-en-ces.org/articles/e3sconf/pdf/2021/39/e3sconf\\_form2021\\_03001.pdf](https://www.e3s-confer-en-ces.org/articles/e3sconf/pdf/2021/39/e3sconf_form2021_03001.pdf).

9. Makarov A.V., Kalinovsky S.A., Fedorova V.S. Raschet konstruksii mostov s primeneniem metoda dinamicheskogo reduktirovaniya. [Calculation of bridge structures using the dynamic reduction method] *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya Stroitel'stvo i arhitektura*. [Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering]. Series: Construction and architecture]. - 2022. - Vipusk. 1 (87). - pp. 57-64.
10. Nikolaenko M.A., Minasov A.G., Savinova E.I. Novie metody proektirovaniya gelezobetonnih prolyotnih stroenii. [New methods for designing reinforced concrete spans]. *Ingenernii vestnik Dona*. [Engineering Bulletin of the Don]. 2017. no. 2 (45)
11. Opredelenie napryagonnogo sostoyaniya i dinamicheskikh koeffitsientov balochnih mostov. [Determination of the stress state and dynamic coefficients of beam bridges] I. S. Bondar, N. M. Makhmetova, M. Ya. Kvashnin, S. S. Khasenov *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobscheniya*. [Bulletin of the Siberian State Transport University]. 2023. no. 4 (67). pp. 92-100. DOI 10.52170/1815-9265\_2023\_67\_92.
12. Pshenichkina V.P., Makhova S.I., Shubin M.A. I dr. Dinamicheskii raschet balki na stohasticheskom lineyno deformiruemom poluprostranstve. [Dynamic calculation of a beam on a stochastic linearly deformable half-space]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya Stroitel'stvo i arhitektura*. [Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering]. - 2011. - Vip. 25 (44). - pp. 42-49.
13. Pshenichkina V.P., Rekunov S.S., Ivanov S.Yu. I dr. Sravnitel'nyi analiz rezultatov raschota sistemi «Zdanie - osnovanie» predstavlennoi v vide sloistoi modeli. [Comparative analysis of the calculation results of the "building - foundation" system, presented in the form of a layered model]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya Stroitel'stvo u arhitektura*. [Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and architecture]. - 2023. - Vip. 1 (90). - pp. 43-53.
14. Savina M. V. Ispolzovanie iskusstvennogo intelekta dlya otsenki i kontrolya tehnikeskogo sostoyaniya zdanii i sooruzhenii. [The use of artificial intelligence for assessing and monitoring the technical condition of buildings and structures] *Innovatsionnii potentsial razvitiya obchestva : vzglyad molodih uchenih: sbornik nauchnih statei 4-I Vserjssiiskoi nauchnoi konferentsii perspektivnih razrabotok*. [Innovative potential of the development of society: the view of young scientists: a collection of scientific articles of the 4th All-Russian scientific conference of promising developments]. Kursk, 2023. pp. 404-408.
15. Salamakhin P.A., Volya O.V., Lukin N.P. i dr. pod red. Salamakhina P.M. Mosti i sooruzeniya na dorogah [Bridges and structures on roads.] *Uchebnik dlya vuzov* [Textbook for universities]. V 2 chastyah. Chast 1 [In 2 parts. Part 1]. – M Transport [M.: Transport]. 1991. 448 p.
16. Salamakhin P.A., Volya O.V., Lukin N.P. i dr. Pod red. Salamakhina P.M. Mosti i sooruzeniya na dorogah. [Bridges and structures on roads]. *Uchebnik dlya vuzov*. [Textbook for universities]. V 2 chastyah. Chast 2. [In 2 parts. Part 2]. – M.: Transport. 1991. 448 p.
17. Skvortsov A. V. Modeli dannih BIM dlya infrastrukturi. [BIM data models for infrastructure] *SAPR I GIS avtomobilnih dorog*. [CAD and GIS of highways]. 2015. no. 1 (4). URL: [https://www.cadgis.ru/2015/4/CADGIS-2015-1\(4\)-02.Skvortsov\(BIM-models-for-infra\).pdf](https://www.cadgis.ru/2015/4/CADGIS-2015-1(4)-02.Skvortsov(BIM-models-for-infra).pdf) (access date: 05/25/2024).
18. Xiaoyan Shen. Bridge facility health detection method based on DATA random subspace // Results in Engineering. 2025. Vol. 26
19. Xin Yao. New prospects for designing bridge superstructure reinforcements: structural aspects // Structures. 2022. Vol. 45.
20. Zhou M., Lu W., Song J., Lee G. C. Application of ultra-high performance concrete in bridge engineering // Construction and Building Materials. 2018. Vol. 186. Pp. 1256—1267.

© А. В. Макаров, Д. В. Ивасик, А. А. Васильченко

Ссылка для цитирования:

Макаров А. В., Ивасик Д. В., Васильченко А. А. Экономичное пролетное строение моста с эффективными пролетами // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2026. № 2 (56). С. 86–93.

УДК 69.057.596  
DOI 10.52684/2312-3702-2026-56-2-93-101

## СИЛОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ И ДЕФОРМИРОВАНИЕ ПЕРЕМЫЧЕЧНЫХ БАЛОК С НЕСЪЕМНОЙ ОПАЛУБКЕЙ ИЗ ЯЧЕЙСТОГО БЕТОНА

П. А. Кореньков, В. В. Герман

**Кореньков Павел Анатоліевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация, тел.: + 7 (495) 287-49-14 доб. 1765; e-mail: kpa\_gbk@mail.ru;

**Герман Владислав Вадимович**, магистрант, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Российская Федерация, тел.: + 7 (919) 720-15-44; e-mail: vladislav.german@mail.ru

Приведены результаты расчетного анализа напряженно-деформированного состояния железобетонных перемычечных балок с несъемной U-образной опалубкой из газобетона. В исследовании рассмотрено 21 расчетная модель с шириной сечения 200, 300 и 400 мм и различными вариантами продольного армирования с учетом нелинейной работы материалов и особенности совместной работы материалов с разными физико-механическими характеристиками. Численные расчеты выполнены в программном комплексе ЛИРА-САПР и сопоставлены с традиционными методиками расчета по предельным состояниям. На основе полученных данных выявлены закономерности формирования механизма разрушения. Установлено, что характер разрушения существенно зависит от ширины сечения и диаметра рабочей арматуры. Определены оптимальные диапазоны диаметров, способствующие пластическому