

УДК 624.012.454

Бокарев Сергей Александрович

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»
Россия, Новосибирск¹
Зав. кафедрой «Мосты», проректор по научной работе СГУПС
Доктор технических наук, профессор
E-Mail: BokarevSA@stu.ru

Ефимов Стефан Васильевич

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»
Россия, Новосибирск
Инженер, аспирант
E-Mail: esvmt@mail.ru

Вопросы подобия усиленных железобетонных балок при экспериментах на уменьшенных масштабных моделях

Аннотация. Основное преимущество изучения реальных объектов на небольших моделях состоит в том, что существует возможность сначала проверить изучаемые конструкции на моделях, а затем перенести количественные результаты на подобные реальные объекты. Однако, вопросы наиболее точного моделирования и подобия не до конца исследованы и сегодня становятся более значимыми. В данной работе рассмотрены возможные принципы и критерии подобия при моделировании строительных конструкций, в частности главных балок пролетных строений. В процессе исследования выполнено проектирование и изготовление модели реальной типовой тавровой балки пролетного строения наиболее распространенной на сети автодорог России с учетом изложенных критериев. Выполнена оценка точности моделирования по условиям максимальных относительных деформаций и относительных прогибов. Проведены экспериментальные исследования моделей типовой балки усиленных системой внешнего армирования путем её наклейки на нижнюю грань балки. В качестве такой системы использовался композиционный материал на основе углеродного волокна. В работе определены масштабные коэффициенты для переноса результатов выполненного эксперимента на реальные конструкции. Сделан вывод о возможности использования данной модели для исследования реальной конструкции.

Ключевые слова: коэффициент подобия; масштабный фактор; исследования на моделях; углеродное волокно; композиционный материал; несущая способность; модуль упругости; железобетонный элемент; балка; прочность; жесткость; деформация; предел прочности.

¹ 630049 г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, д. 191, каб.274

В научно-исследовательской лаборатории «Мосты» Сибирского Государственного университета путей сообщения (СГУПС) в период с 11.03.2014 по 24.04.2014 г. были проведены экспериментальные исследования моделей железобетонных балок, усиленных композиционными материалами, и выполнена оценка эффективности применения данных материалов для усиления изгибаемых железобетонных элементов [1 - 14]. Испытания проводили в рамках выполнения работ по государственному контракту, заключенному между ФГБОУ ВПО СГУПС и Федеральным дорожным агентством министерства транспорта Российской Федерации, в соответствии с Программой испытаний железобетонных моделей таврового сечения. Для усиления образцов применяли такие материалы как FibARM Tare 530/300 и FibARM Lamel 14/100, входящие в состав системы внешнего армирования (т.е. комплексной системы материалов, включающей ремонтный состав для восстановления поверхности, грунтовку, шпатлевку, холсты, пластины и эпоксидный клей для их укладки, защитные покрытия) FibARM производства ЗАО «ХК «Композит». С целью определения фактической прочности компонентов системы внешнего армирования, предварительно перед испытанием моделей проведены испытания холстов, пластин и связующих [4] с соблюдением требований ГОСТ 14760-69* и ГОСТ 25.601-80. Испытания проводили также в лаборатории «Мосты» СГУПС на испытательной машине Time WDW-300E.

Сегодня экспериментальные исследования строительных конструкций проводятся в возрастающем объеме, и вопросы наиболее точного моделирования и подобия остро встают перед исследователями. Каждый эксперимент проводится для проверки каких-либо теоретических положений и дальнейшего распространения и проецирования результатов, полученных при проведении опыта, на реальные объекты. В области строительных конструкций, в частности главных балок пролетных строений, начинают использовать уменьшенные масштабные модели. Основное преимущество изучения реальных объектов на небольших моделях состоит в том, что имеется возможность сначала проверить исследуемые конструкции на моделях, а затем перенести количественные результаты эксперимента на подобные реальные объекты.

Каждый опыт, проводимый в лаборатории на моделях, основывается на двух главных категориях подобия: «константе подобия» и «уравнения связи» [15]. Константа подобия – постоянное число, выражающее отношение одноименных величин в соответствующих точках геометрически подобных систем. Количество величин, входящих в константу подобия, может быть различным. Отношения между подобными объектами обусловлено определенными физическими законами или «связями». Поэтому константы подобия не могут быть выбраны произвольно, а должны быть получены из «уравнений связи», т.е. из математических выражений физических законов.

При проведении экспериментов, предназначенных для изучения механической прочности конструкций, в основу исследования может быть положен «критерий механического подобия», который выражает геометрическое и силовое подобие изучаемых систем. На этом критерии построены различные методы моделирования конструкций. В большинстве случаев размеры опытной модели назначают только из условия геометрического подобия, а вместо силового подобия ставится условие равенства напряженных состояний модели и реальной конструкции.

В настоящее время методы нелинейного физического моделирования не разработаны, и обычно при экспериментах окончательный вывод о работоспособности реальной конструкции делается не по упругой стадии, а по стадии разрушения опытной модели. В таком случае исследование конструкции в предельном состоянии методами линейного моделирования дает только приближенный результат. При этом константы подобия выводятся из уравнений связи,

которые линейно выражают зависимость напряженного состояния модели и реальной конструкции.

В ходе проведения исследования была поставлена и решена задача моделирования железобетонных балок пролетных строений автодорожных мостов на основе общих принципов силового и геометрического подобия [15 - 21]. В качестве моделируемого объекта была выбрана одна из наиболее распространенных на сети автодорог России тавровых балок из обычного железобетона серии 3.503-14/5, основные размеры которой представлены на рисунках 1 и 2. Жирной линией на рисунках показан композиционный материал, наклеенный на нижнюю грань балки.

При проектировании модели типовой тавровой балки были использованы следующие критерии механического подобия [15,19]:

1) Условие равенства максимальных относительных деформаций без ограничения жесткости системы:

$$\varepsilon_M^{max} = \varepsilon_H^{max}, \quad (1)$$

где ε_M^{max} и ε_H^{max} - наибольшие относительные деформации в подобных точках модели и реальной балки.

2) Условие одинаковой жесткости без ограничения величин максимальных относительных деформаций:

$$\frac{f_M}{l_M} = \frac{f_H}{l_H}, \quad (2)$$

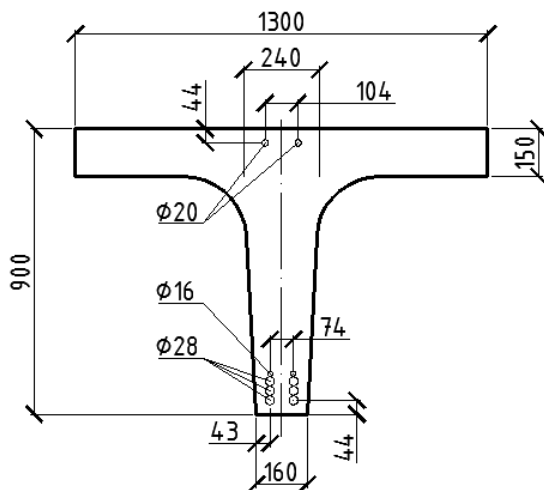
где f_M и f_H – прогибы в подобных точках, l_M и l_H – пролеты модели и реальной балки.

Первое уравнение позволяет исследовать прочность балок из различных материалов, а также усиленных балок, путем наклеивания материала усиления на нижнюю грань. Второе уравнение можно применять в любых случаях, оно дает возможность определить характеристику жесткости реальной конструкции по результатам исследования жесткости модели.

В общем случае максимальные относительные деформации в модели и в реальной конструкции в пределах упругой стадии выражаются следующим образом:

$$\varepsilon_M^{max} = \frac{M_M e_M^{max}}{E_M I_M}; \quad \varepsilon_H^{max} = \frac{M_H e_H^{max}}{E_H I_H}, \quad (3)$$

где ε_M^{max} – максимальная относительная деформация в модели; M_M – изгибающий момент от нагрузки в модели; I_M – момент инерции поперечного сечения модели; e_M^{max} – максимальное расстояние от центра тяжести до нижней грани балки-модели; E_M – модуль упругости материала балки-модели; ε_H^{max} , M_H , I_H , e_H^{max} , E_H – соответствующие параметры балки натуральных размеров.



*Рис. 1. Поперечное сечение с расположением рабочей арматуры
типовой балки серии 3.503-14/5*

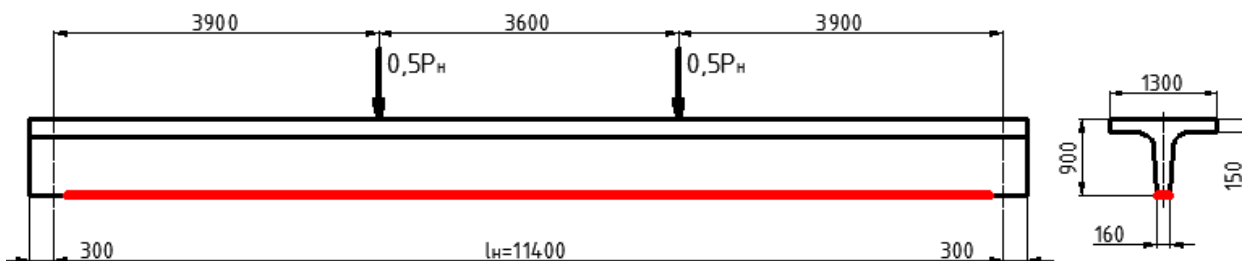


Рис. 2. Общий вид типовой балки серии 3.503-14/5

В связи с тем, что основная задача эксперимента – изучение работы полимерного композиционного материала усиления на основе углеродного волокна, наклеенного на нижнюю грань балки, в качестве основного критерия механического подобия было принято равенство относительных деформаций на нижней грани балки-модели и реальной конструкции.

Для схемы нагружения двумя сосредоточенными силами, приложенными на одинаковом расстоянии от торцов моделируемой балки, были определены основные геометрические размеры моделируемой балки и произведен подбор рабочей арматуры по принятому основному критерию механического подобия (рис. 3 и 4). Было изготовлено 18 моделей типовой балки (рис. 5). Проектные характеристики бетона моделей – В30, F300, W6. В качестве рабочей арматуры использовали стержни класса А400 диаметром 18 и 20 мм, в качестве конструктивной – стержни класса А240 диаметром 6 мм.

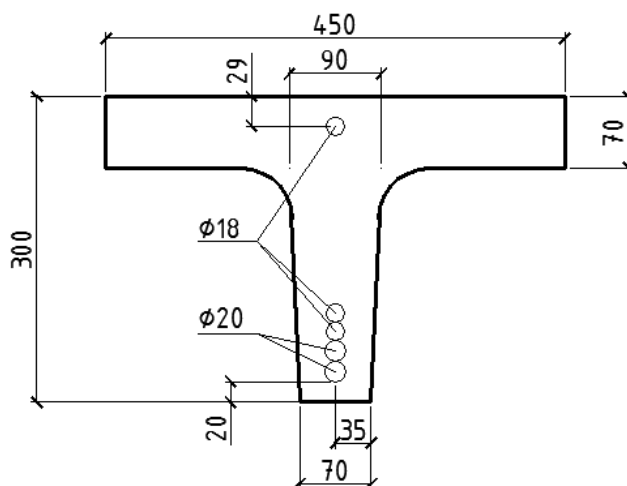


Рис. 3. Поперечное сечение с расположением рабочей арматуры модели типовой балки

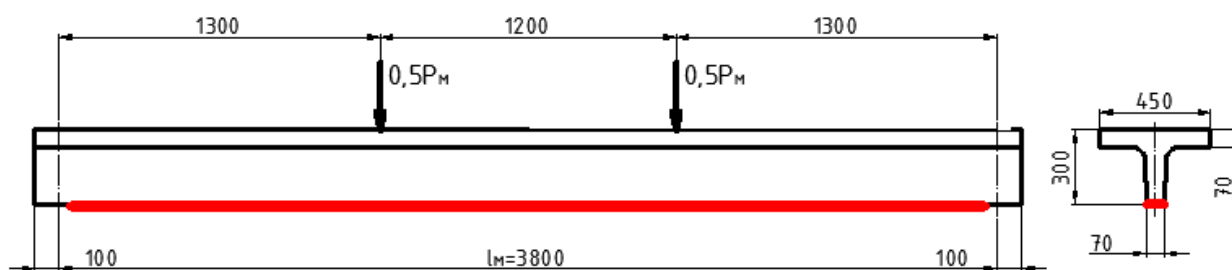


Рис. 4. Общий вид модели типовой балки



Рис. 5. Фотографии моделей типовой балки

Согласно программе испытаний, было реализовано восемь схем усиления. Испытания проводили на силовом стенде, установленном в здании НИЛ «Мосты» СГУПС. Для нагружения образцов использовали гидравлический домкрат ДГ50П250, с ручным насосом, который представлен на рисунке ба. С целью выделения зоны чистого изгиба, нагрузка на образец прикладывалась в виде двух сосредоточенных сил, которые передавались через специальную изготовленную траверсу. Значения нагрузки фиксировали с помощью мессдозы, изготовленной по индивидуальному заказу для данных испытаний (рис. бб). В процессе нагружения прогибы измеряли посредством нивелирования по рейкам, установленным в середине балки, а также в

ее опорных сечениях; значения деформаций фиксировали при помощи деформометров на основе цифровых индикаторов часового типа ИЧЦ-10 с базой 16 и 50 см. Фотографии разрушенных образцов представлены на рисунке 7.

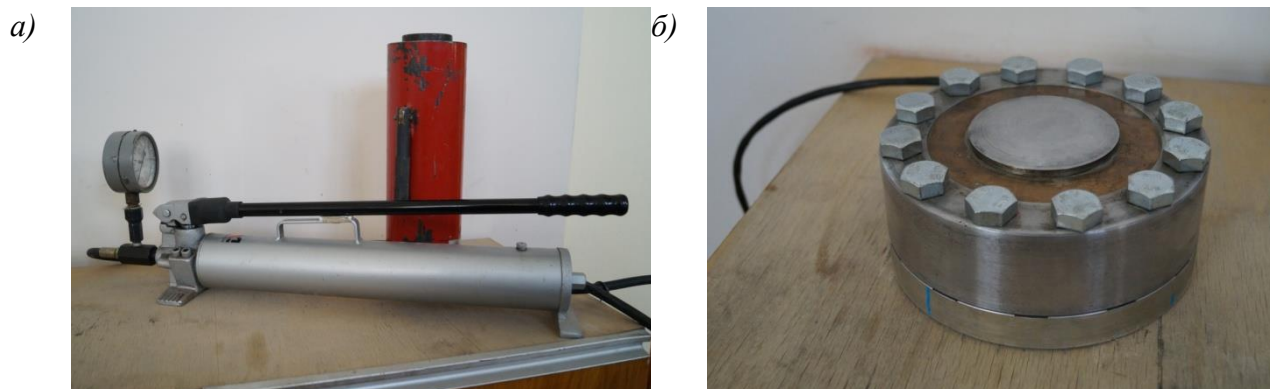


Рис. 6. Оборудование для приложения и измерения нагрузки:

а) домкрат ДГ50П250 с ручным насосом; б) мессдоза

В исследуемом случае критерий равенства относительных деформаций можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned}
 M_M &= \frac{E_M I_M e_H^{max}}{E_H I_H e_M^{max}} M_H; \\
 \alpha l_M \frac{P_M}{2} &= \frac{E_M I_M e_H^{max}}{E_H I_H e_M^{max}} \cdot \alpha l_H \frac{P_H}{2}; \\
 P_M &= \frac{E_M l_H I_M e_H^{max}}{E_H l_M I_H e_M^{max}} P_H; \\
 P_M &= \mu n_p P_H,
 \end{aligned} \tag{4}$$

где $0,5P_M$ и $0,5P_H$ – сосредоточенные силы приложенными на одинаковом расстоянии от торцов моделируемой балки и балки в натуральную величину, μ – отношение модулей упругости материалов балок, $\mu = \frac{32,5 \text{ ГПа}}{28,5 \text{ ГПа}} = 1,14$, $n_p = \frac{l_H I_M e_H^{max}}{l_M I_H e_M^{max}}$ – константа подобия по деформациям для данного случая нагружения балок.

$$n_p = 0,20;$$

$$P_M = 0,228 \cdot P_H.$$

Относительная погрешность между максимальными относительными деформациями на нижней грани реальной балки и балки-модели, которые определены по формулам (3), составляет 2,5%.

Критерий механического подобия по условию одинаковой жесткости модели и реальной балки, определенный по уравнению (2) для случая загрузки балки двумя сосредоточенными силами, приложенными на одинаковом расстоянии от краев балки, можно представить в следующем виде:

$$f = \phi \left(\frac{Pl^3}{EI} \right);$$
$$\frac{P_M l_M^3}{E_M I_M} \sim \frac{P_H l_H^3}{E_H I_H};$$
$$P_M = \frac{E_M I_M l_H^3}{E_H I_H l_M^3} P_H;$$
$$P_M = \mu n_p^2 P_H,$$

(5)

где $n_p = \frac{l_H}{l_M} \sqrt{\frac{I_M}{I_H}}$ – константа подобия по жесткости при данной схеме нагружения.

$$n_p = 0,437;$$

$$P_M = 0,217 \cdot P_H.$$

Относительная погрешность по условию равенства относительных прогибов реальной балки и опытной модели, которые определены по формуле (2), составляет 7,5%.



Рис. 7. Фотографии разрушенных моделей типовой балки

По результатам сравнения балки-модели и реальной балки можно сделать вывод о возможности применения данной модели для изучения работы реальной типовой балки серии 3.503-14/5, так как максимальные относительные деформации модели и балки в натуральную величину практически равны (погрешность составляет 2,5%). Кроме того, относительные прогибы модели и реальной балки различаются на 7,5%. При моделировании балок обязательно соблюдение хотя бы одного из условий, но в данном случае погрешность по двум условиям находится в допустимых пределах, поэтому данная модель должна наиболее точно отражать поведение реальной балки под нагрузкой.

Чтобы определить нагрузку, вызывающую такие же относительные деформации на нижней грани в реальной балки типового проекта серии 3.503-14/5, необходимо разделить нагрузку, приложенную на модель, на масштабный коэффициент, который в данном случае будет равен 0,228. Этот масштабный коэффициент выражен в формуле (4) и представляет собой произведение отношения модулей упругости материалов балок μ и константы подобия по

деформациям n_p . Необходимо отметить, что нагрузка на реальную конструкцию должна прикладываться также, как и на модель, т.е. в виде двух сосредоточенных сил на одинаковом расстоянии от торцов балки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шилин А. А. Усиление железобетонных конструкций композитными материалами / А. А. Шилин, В. А. Пшеничный, Д. В. Картузов. – М., Стройиздат, 2004. – 139 с.
2. Бокарев С.А., Смердов Д.Н. Экспериментальные исследования изгибаемых железобетонных элементов, усиленных композитными материалами // Известия вузов. Строительство. 2010. № 2. С. 112–124.
3. Бокарев, С. А. Методика расчета по прочности сечений эксплуатируемых железобетонных пролетных строений, усиленных композитными материалами / С. А. Бокарев, Д. Н. Смердов, А. А. Неровных // Известия вузов. Строительство. – 2010. – № 2. – с. 63-74.
4. Бокарев С. А. Коэффициенты надежности для композиционных материалов, применяемых для усиления железобетонных элементов мостовых конструкций / С. А. Бокарев Г. М. Власов, А. А. Неровных, Д. Н. Смердов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2012. – № 2. – С. 222-229.
5. Руководство по усилению железобетонных конструкций композитными материалами / Разработано в развитие СП 52-101-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры». НИИЖБ. М., 2006. 48 с.
6. Овчинников И.Г., Валиев Ш.Н., Овчинников И.И., Зиновьев В.С., Умиров А.Д. Вопросы усиления железобетонных конструкций композитами: 1. Экспериментальные исследования особенностей усиления композитами изгибаемых железобетонных конструкций// Интернет-журнал «Науковедение» 2012, № 4, <http://naukovedenie.ru/PDF/13tvn412.pdf>. -М. с. 1- 22.
7. Овчинников И.Г., Валиев Ш.Н., Овчинников И.И., Зиновьев В.С., Умиров А.Д. Вопросы усиления железобетонных конструкций композитами: 2. Натурные исследования усиления железобетонных конструкций композитами, возникающие проблемы и пути их решения// Интернет-журнал «Науковедение» 2012, № 4, <http://naukovedenie.ru/PDF/14tvn412.pdf>. -М. с. 1- 37.
8. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Чесноков Г.В., Татиев Д.А., Покулаев К.В. Усиление металлических конструкций фиброармированными пластиками: часть 1. состояние проблемы // Интернет-журнал "Науковедение" № 3, 2014. Май-июнь. с. 1- 27. Идентификационный номер статьи в журнале 19TVN314.
9. Овчинников И.И., Овчинников И.Г., Чесноков Г.В., Татиев Д.А., Покулаев К.В. Усиление металлических конструкций фиброармированными пластиками: часть 2. Применение метода предельных состояний к расчету растягиваемых и изгибаемых конструкций // Интернет-журнал "Науковедение" № 3, 2014. Май-июнь. с. 1- 23. Идентификационный номер статьи в журнале 20TVN314.
10. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Чесноков Г.В., Шадрина О.В. Применение заполненных бетоном трубчатых конструкций из фиброармированных пластиков

- в транспортном строительстве: Часть 1. Исследование применимости фибропластиков для создания арочной мостовой конструкции// Интернет-журнал "Науковедение" № 4(23), 2014. июль-август. с. 1- 25. Идентификационный номер статьи в журнале 102TVN414.
11. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Чесноков Г.В., Феокистов С.А. Применение заполненных бетоном трубчатых конструкций из фиброармированных пластиков в транспортном строительстве: Часть 2. Отечественные исследования заполненных бетоном фибропластиковых арок и технология сооружения мостов с применением фибропластиковых арок// Интернет-журнал "Науковедение" № 4(23), 2014. июль-август. с. 1-34. Идентификационный номер статьи в журнале 103TVN414.
 12. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Чесноков Г.В., Применение заполненных бетоном трубчатых конструкций из фиброармированных пластиков в транспортном строительстве: Часть 3. Мониторинг мостового сооружения, изготовленного с применением заполненных бетоном фибропластиковых арочных труб // Интернет-журнал "Науковедение" № 4(23), 2014. июль-август. с. 1- 24. Идентификационный номер статьи в журнале 104TVN414.
 13. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Чесноков Г.В., Покулаев К.В., Татиев Д.А. Особенности расчета металлических конструкций, усиливаемых фиброармированными пластиками// Инновации и исследования в транспортном комплексе: Материалы II Международной научно-практической конференции. Курган. 2014. 456 с. с. 141-151.
 14. Овчинников И.Г., Овчинников И.И., Чесноков Г.В., Покулаев К.В., Татиев Д.А. О разработке нормативных документов по усилению металлических строительных конструкций композиционными материалами// Инновации и исследования в транспортном комплексе: Материалы II Международной научно-практической конференции. Курган. 2014. 456 с. с.151-157
 15. Стельмах С.И. Теоретические основы моделирования балочных конструкций при экспериментах и проектировании. В сб. ЦНИИСК: «Исследования по расчету оболочек, стержневых и массивных конструкций». М., 1963.
 16. Стельмах, С.И. Моделирование оболочек при экспериментах и проектировании. В сб. «Строительная механика». М., Стройиздат, 1959.
 17. Седов Л.И. Методы теории размерности и теории подобия в механике. Гостехиздат, 1951.
 18. Наносов В.Н. Моделирование строительных конструкций. Стройиздат, М., 1971.
 19. Назаров А.Г. Основная теорема подобия применительно к моделированию строительных конструкций. Строительная механика и расчет сооружений. №3, 1959.
 20. Назаров А.Г. О механическом подобии твердых тел и его применение к исследованию строительных конструкций и сейсмостойкости сооружений. Изд. АН Арм. ССР, Ереван, 1957.
 21. Мхитарян Д.А. Экспериментальное моделирование бетонных и железобетонных конструкций на статическую нагрузку. Изд. АН Арм. ССР, Ереван, 1987.

Рецензент: Заместитель Председателя Поволжского отделения Российской академии транспорта, академик РАТ, доктор технических наук, профессор Овчинников И.Г.

Sergey Bokarev

Siberian Transport University
Russian Federation, Novosibirsk
E-Mail: BokarevSA@stu.ru

Stefan Efimov

Siberian Transport University
Russian Federation, Novosibirsk
E-Mail: esvmt@mail.ru

Questoins similarity strenthened reinforced concrete beams in experiments on reduced scale models

Abstract. The main advantage of studying the of real objects on smaller models is that it is possible to check at first researched designs on models, and then transfer the results to similar real objects. However, questions are the most accurate modeling and similarity is not fully researched and are now becoming more important. In this paper some possible principles and similarity criteria when modeling building structures, in particular the main beams superstructures. During the research carried out designing and manufacturing standard the model T-beam superstructure most common on the road network of Russia with regard to the above criteria. The evaluation of the accuracy of the simulation under the terms of the maximum relative deformations and relative deflections. Experimental researches of models typical beams strengthened system of external reinforcement by its adhesion to the lower bound of the beam. As such a was used system composite material based on carbon fiber. In this paper we determine the scale factor for the transfer of the results of experiments on real designs. It is concluded that the possibility of using this model to explore the real construction.

Keywords: coefficient of similarity; scale factor; research on models; carbon fiber; composite material; bearing strength; coefficient of elasticity; reinforced concrete element; beam; rigidity; stiffness; strain; ultimate strength.

REFERENCES

1. Shilin A. A. Usilenie zhelezobetonnykh konstruksiy kompozitnymi materialami / A. A. Shilin, V. A. Pshenichnyy, D. V. Kartuzov. – M., Stroyizdat, 2004. – 139 s.
2. Bokarev S.A., Smerdov D.N. Eksperimental'nye issledovaniya izgibaemykh zhelezobetonnykh elementov, usilennykh kompozitnymi materialami // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo. 2010. № 2. S. 112–124.
3. Bokarev, S. A. Metodika rascheta po prochnosti secheniy ekspluatiruemykh zhelezobetonnykh proletnykh stroeniy, usilennykh kompozitnymi materialami / S. A. Bokarev, D. N. Smerdov, A. A. Nerovnykh // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo. – 2010. – № 2. – s. 63-74.
4. Bokarev S. A. Koeffitsienty nadezhnosti dlya kompozitsionnykh materialov, primenyaemykh dlya usileniya zhelezobetonnykh elementov mostovykh konstruksiy / S. A. Bokarev G. M. Vlasov, A. A. Nerovnykh, D. N. Smerdov // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. – 2012. –№ 2. – S. 222-229.
5. Rukovodstvo po usileniyu zhelezobetonnykh konstruksiy kompozitnymi materialami / Razrabotano v razvitie SP 52-101-2003 «Betonnye i zhelezobetonnye konstruksii bez predvaritel'nogo napryazheniya armatury». NIIZhB. M., 2006. 48 s.
6. Ovchinnikov I.G., Valiev Sh.N., Ovchinnikov I.I., Zinov'ev V.S., Umirov A.D. Voprosy usileniya zhelezobetonnykh konstruksiy kompozitami: 1. Eksperimental'nye issledovaniya osobennostey usileniya kompozitami izgibaemykh zhelezobetonnykh konstruksiy// Internet-zhurnal «Naukovedenie» 2012, № 4, <http://naukovedenie.ru/PDF/13tvn412.pdf>. -M. s. 1- 22.
7. Ovchinnikov I.G., Valiev Sh.N., Ovchinnikov I.I., Zinov'ev V.S., Umirov A.D. Voprosy usileniya zhelezobetonnykh konstruksiy kompozitami: 2. Naturnye issledovaniya usileniya zhelezobetonnykh konstruksiy kompozitami, vznikayushchie problemy i puti ikh resheniya// Internet-zhurnal «Naukovedenie» 2012, № 4, <http://naukovedenie.ru/PDF/14tvn412.pdf>. -M. s. 1- 37.
8. Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Chesnokov G.V., Tatiev D.A., Pokulaev K.V. Usilenie metallicheskih konstruksiy fibroarmirovannymi plastikami: chast' 1. sostoyanie problemy // Internet-zhurnal "Naukovedenie" № 3, 2014. May-iyun'. s. 1- 27. Identifikatsionnyy nomer stat'i v zhurnale 19TVN314.
9. Ovchinnikov I.I., Ovchinnikov I.G., Chesnokov G.V., Tatiev D.A., Pokulaev K.V. Usilenie metallicheskih konstruksiy fibroarmirovannymi plastikami: chast' 2. Primenenie metoda predel'nykh sostoyaniy k raschetu rastyagivaemykh i izgibaemykh konstruksiy // Internet-zhurnal "Naukovedenie" № 3, 2014. May-iyun'. s. 1- 23. Identifikatsionnyy nomer stat'i v zhurnale 20TVN314.
10. Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I., Chesnokov G.V., Shadrina O.V. Primenenie zapolnennykh betonom trubchatykh konstruksiy iz fibroarmirovannykh plastikov v transportnom stroitel'stve: Chast' 1. Issledovanie primenimosti fibroplastikov dlya sozdaniya arochnoy mostovoy konstruksii// Internet-zhurnal "Naukovedenie" № 4(23), 2014. iyul'-avgust. s. 1- 25. Identifikatsionnyy nomer stat'i v zhurnale 102TVN414.
11. Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I., Chesnokov G.V., Feoktistov S.A. Primenenie zapolnennykh betonom trubchatykh konstruksiy iz fibroarmirovannykh plastikov v transportnom stroitel'stve: Chast' 2. Otechestvennye issledovaniya zapolnennykh

- betonom fibroplastikovykh arok i tekhnologiya sooruzheniya mostov s primeneniem fibroplastikovykh arok// Internet-zhurnal "Naukovedenie" № 4(23), 2014. iyul'-avgust. s. 1- 34. Identifikatsionnyy nomer stat'i v zhurnale 103TVN414.
12. Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I., Chesnokov G.V., Primeniye zapolnennykh betonom trubchatykh konstruksiy iz fibroarmirovannykh plastikov v transportnom stroitel'stve: Chast' 3. Monitoring mostovogo sooruzheniya, izgotovlennogo s primeneniem zapolnennykh betonom fibroplastikovykh arochnykh trub // Internet-zhurnal "Naukovedenie" № 4(23), 2014. iyul'-avgust. s. 1- 24. Identifikatsionnyy nomer stat'i v zhurnale 104TVN414.
 13. Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I., Chesnokov G.V., Pokulaev K.V., Tatiev D.A. Osobennosti rascheta metallicheskih konstruksiy, usilivaemykh fibroarmirovannymi plastikami// Innovatsii i issledovaniya v transportnom komplekse: Materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Kurgan. 2014. 456 s. s. 141-151.
 14. Ovchinnikov I.G., Ovchinnikov I.I., Chesnokov G.V., Pokulaev K.V., Tatiev D.A. O razrabotke normativnykh dokumentov po usileniyu metallicheskih stroitel'nykh konstruksiy kompozitsionnymi materialami// Innovatsii i issledovaniya v transportnom komplekse: Materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Kurgan. 2014. 456 s. s.151-157
 15. Stel'makh S.I. Teoreticheskie osnovy modelirovaniya balochnykh konstruksiy pri eksperimentakh i proektirovanii. V sb. TsNIISK: «Issledovaniya po raschetu obolochek, sterzhnevyykh i massivnykh konstruksiy». M., 1963.
 16. Stel'makh, S.I. Modelirovanie obolochek pri eksperimentakh i proektirovanii. V sb. «Stroitel'naya mekhanika». M., Stroyizdat, 1959.
 17. Sedov L.I. Metody teorii razmernosti i teorii podobiya v mekhanike. Gostekhizdat, 1951.
 18. Nanosov V.N. Modelirovanie stroitel'nykh konstruksiy. Stroyizdat, M., 1971.
 19. Nazarov A.G. Osnovnaya teorema podobiya primenitel'no k modelirovaniyu stroitel'nykh konstruksiy. Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy. №3, 1959.
 20. Nazarov A.G. O mekhanicheskom podobii tverdykh tel i ego primeniye k issledovaniyu stroitel'nykh konstruksiy i seysmostoykosti sooruzheniy. Izd. AN Arm. SSR, Erevan, 1957.
 21. Mkhitaryan D.A. Eksperimental'noe modelirovanie betonnykh i zhelezobetonnykh konstruksiy na staticheskuyu nagruzku. Izd. AN Arm. SSR, Erevan, 1987.