

## Динамика конструкций и сооружений

### ДИНАМИЧЕСКИЕ ОПОРНЫЕ РЕАКЦИИ В БАЛКЕ ПРИ УДАРНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

И.В. АЛФЕРОВ, аспирант

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет путей сообщения»  
(МИИТ)

143987, Россия, МО, г. Железнодорожный, ул. Колхозная, 12/2 кв. 22,  
ialferov@bk.ru

В статье приводятся результаты решения динамической задачи при поперечном ударном воздействии на балку. Задача решается с целью определения величины горизонтальной опорной реакции при стандартном закреплении балки шарнирно-подвижной и шарнирно-неподвижной опорами. Расчетная схема рассмотрена в виде плоской пластины. Для моделирования балки и груза была использована стержневая модель А.Р. Ржаницына.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: горизонтальная опорная реакция, численное решение, балка, ударное воздействие.

В работах [1–6] исследовалось появление горизонтальной составляющей опорной реакции в балочных, плитно-балочных и ферменных системах, совершающих поперечные свободные колебания или вынужденные колебания при действии подвижной нагрузки и землетрясения. В данной работе исследуются динамические опорные реакции в балочной системе при ударном действии поперечной нагрузки.

Несмотря на достаточный интерес к вопросам динамики балочных систем [7, 8], нам не удалось обнаружить публикаций с решениями близкими к нашему подходу. В работе [7] рассматривается связь поперечных колебаний с продольными на уровне нелинейных уравнений, эффект, который удалось нам обнаружить проявляется уже с использованием линейных моделей.

Для расчета была взята балка с классическим закреплением (шарнирно-подвижной и шарнирно-неподвижной опорами). Высота балки – 2 м, пролет – 9,6 м, толщина – 0,01 м. Материал балки по своим массовым и упругим характеристикам приближен к стали ( $E = 2 \cdot 10^{11}$  Па,  $\rho = 7800$  кг/м<sup>3</sup>,  $\mu = 0,3$ ). Балка рассматривалась как пластина, находящаяся в плоском напряженном состоянии.

А.Р. Ржаницын предложил заменить сплошную среду набором стержней, работающих на растяжение. Согласно модели Ржаницына, подбирая определенным образом жесткости этих стержней, можно получить сплошную среду с необходимым модулем упругости и коэффициентом Пуассона  $\mu = 0,3$  [9]. Эту модель мы используем для решения динамической задачи.

Для падающего груза применена та же стержневая аппроксимация, что и у пластины. Ширина груза – 0,4 м, высота – 0,2 м, толщина – 0,01 м, материал груза тот же, что и у балки. Нижняя граница груза описана параболой со стрелой 0,01 м (рис. 1, 2).



Рис. 1. Расчетная схема. Балка и падающий груз

Вся балка разделена на 500 слоев по горизонтали и 100 слоев по вертикали. Расчетная схема состоит из: 50835 узлов и 201433 стержней. Балка и груз смоделированы тремя типами стержней, каждый из которых имеет свою жесткость и погонный вес: пояс, рамка, раскос [9].

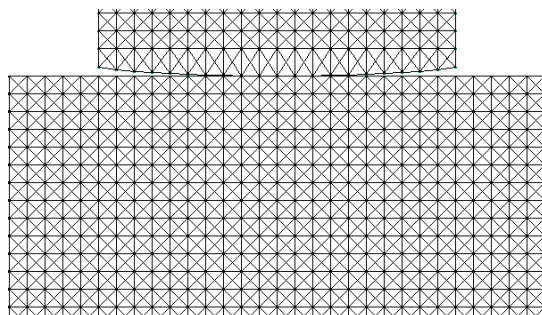


Рис. 2. Область контакта груза и балки

Расчет проводился в 2-х вариантах: сначала груз падал посередине балки, затем на расстоянии 3 м от левого края балки. Груз падает вертикально со скоростью 10 и 20 м/с. Время расчета составляет 0,1 сек. В табл. 1 приведены экстремальные значения горизонтальной и вертикальных опорных реакций при расчете на ударное воздействие нагрузки. За положительные направления опорных реакций приняты следующие направления: для горизонтальной опорной реакции – налево, для вертикальной опорной реакции – вниз. В качестве допущения принимается, что работа всех элементов расчетной схемы является линейно упругой. Силы взаимодействия между балкой и грузом получаются в результате решения контактной задачи. Для расчета использована компьютерная программа, разработанная на кафедре «Строительная механика» МИИТа [9].

Таблица 1

Экстремальные значения горизонтальной и вертикальных опорных реакций при расчете на ударное воздействие нагрузки

Скорость падения груза	10 м/с	20 м/с
<b>Груз падает посередине балки</b>		
Горизонтальная реакция, кН	-66,91	-133,76
Вертикальная реакция в левой опоре, кН	-51,60	-102,80
Вертикальная реакция в правой опоре, кН	-47,57	-94,86
<b>Груз падает на расстоянии 3 м от левого края балки</b>		
Горизонтальная реакция, кН	54,50	109,16
Вертикальная реакция в левой опоре, кН	56,54	113,03
Вертикальная реакция в правой опоре, кН	-54,17	-107,56

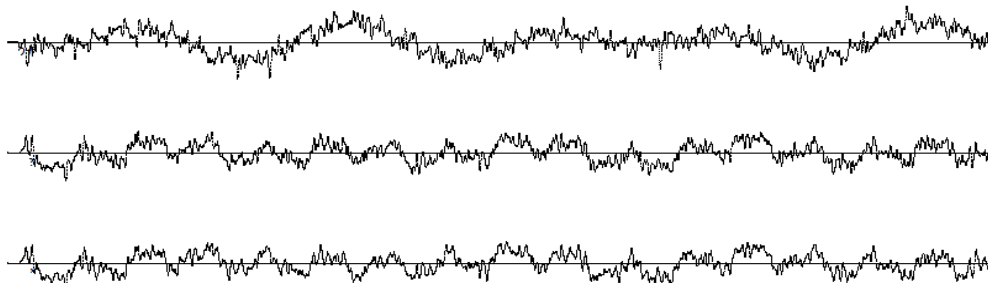


Рис. 3. Графики изменения горизонтальной и вертикальных опорных реакций при расчете на ударное воздействие от времени. Верхний график – горизонтальная опорная реакция, средний график – вертикальная опорная реакция в левой опоре, нижний график – вертикальная опорная реакция в правой опоре. Груз падает посередине балки со скоростью 10 м/с. Высота падения груза 0,001 м, время расчета 0,1 сек

На рис. 3 представлены графики изменения горизонтальной и вертикальных опорных реакций при расчете на ударное воздействие от времени.

Графики опорных реакций начинаются с нулевого участка, так как волна деформаций не сразу доходит до опорных стержней. Графики вертикальных реакций достаточно близки, однако, немного отличаются друг от друга именно за счет возникновения горизонтальной опорной реакции, которая вносит определенную несимметрию в эту задачу (см. табл. 1).

На рис. 4, 5, 6 показано распространение волн деформаций в балке при расчете на ударное воздействие в разные моменты времени. Груз падает посередине балки со скоростью 10 м/с. Удар происходит в одно касание. Время контакта груза и балки составляет около 0,0003 сек.

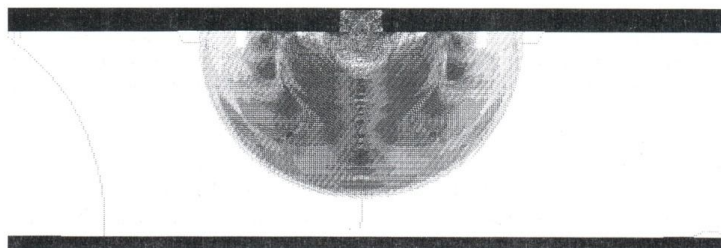


Рис. 4. Распределение волны деформаций в балке при расчете на ударное воздействие. Момент времени 0,0004 сек

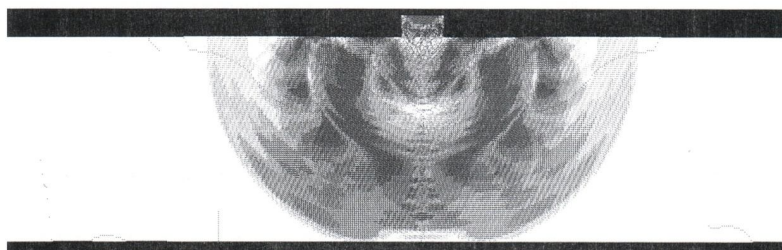


Рис. 5. Распределение волны деформаций в балке при расчете на ударное воздействие. Момент времени 0,0005 сек

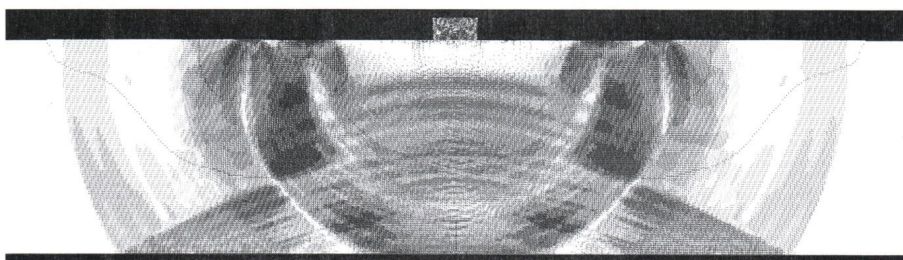


Рис. 6. Распределение волны деформаций в балке при расчете на ударное воздействие. Момент времени 0,0008 сек

Таблица 2

*Экстремальные значения опорных реакций при расчете на ударное воздействие при разном шаге по времени. Скорость падения груза 20 м/с, груз падает посередине балки*

Шаг по времени, сек	Горизонтальная опорная реакция, кН	Вертикальная реакция в левой опоре, кН	Вертикальная реакция в правой опоре, кН
0,00000059	-133,76	-102,80	-94,86
0,00000030	-133,80	-102,65	-94,99
0,00000015	-133,77	-102,71	-94,98

Таким образом, имеем удовлетворительное совпадение искомых факторов при разном шаге по времени. Разность в значениях составляет порядка 0,15%.

Анализируя данные табл. 1 можно сделать вывод о том, что при увеличении скорости падения груза в 2 раза все усилия увеличились также почти в 2 раза. Хотя задача решалась как геометрически нелинейная и учитывались нелинейные факторы: менялось пятно контакта груза и балки в зависимости от скорости падения груза, рассматривалась возможность скольжения по контактной поверхности груз-балка (коэффициент трения принимался равным 0,35), но параметры задачи оказались таковы, что нелинейность проявилась в слабой степени.

Интересным оказался тот факт, что в первый момент времени вертикальные реакции направлены вниз, что соответствует возможности отрыва балки от точек касания. Главным выводом из выполненных решений является то, что при вертикальном ударном воздействии возникает существенная горизонтальная опорная реакция. Значение горизонтальной опорной практически равно значению вертикальной опорной реакции, а в некоторых случаях превышает его. Подобные результаты наблюдались нами и при других видах поперечного воздействия на балку [1–4].

*Данная работа проведена в рамках гранта, полученного в фонде «Основание». Учредители фонда: ОАО «Институт Гипростроймост», ОАО «СК МОСТ».*

#### Л и т е р а т у р а

1. *Алферов И.В.* Динамические опорные реакции в балочных системах при свободных колебаниях// Труды научно-практической конференции «Наука МИИТа – транспорту». М.: МИИТ, 2012. – II-3 с.
2. *Зылев В.Б., Алферов И.В.* Динамические опорные реакции в уточненных балочных схемах// Труды V международной научно-практической конференции «Инженерные системы – 2012». М.: Российский университет дружбы народов, 2012. – С. 105-109.
3. *Зылев В.Б., Алферов И.В.* Динамические опорные реакции при свободных колебаниях плитно-балочных и ферменных систем// Сборник трудов «Инженерные сооружения на транспорте». Выпуск 4. – М.: МИИТ, 2012. – С. 69-71.
4. *Зылев В.Б., Алферов И.В.* Динамические опорные реакции в плитно-балочных системах, совершающих свободные колебания, при совместной работе пролетного строения и опор// Труды VI международной научно-практической конференции «Инженерные системы – 2013». – М.: Российский университет дружбы народов, 2013. – С. 21-24.
5. *Зылев В.Б., Алферов И.В.* Динамические опорные реакции в мостовой ферме при движении подвижной нагрузки// Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – Вып. 31 (50), Ч.2. Строительные науки. – Волгоград: ВолГАСУ, 2013. – С. 333-336.
6. *Зылев В.Б., Алферов И.В.* Динамические опорные реакции в мостовой ферме при воздействии землетрясения// Сборник материалов международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития строительных конструкций: инновации, модернизация и энергоэффективность в строительстве», 19-20 декабря 2013г. Том 1. – Алмата: КазГАСА, 2013. – С. 63-68.
7. *Ghayesh Mergen H., Kazemirad Siavash, Amabili Marco.* Coupled longitudinal-transverse dynamics of an axially moving beam with an internal resonance// Mech. and Mach. Theory. – 2012. – Vol. 52. – P. 18-34.
8. *Iskhakov I., Ribakov Y., Resnik B.* Vertical vibration of long span structures under dynamic loadings// Vienna Congress on Recent Advances in Earthquake Engineering and Structural Dynamics. 28-30 August 2013. – P. 70.
9. *Зылев В.Б.* Вычислительные методы в нелинейной механике конструкций. М.: НИЦ «Инженер», 1999. – 144 с.

#### References

1. *Alferov, IV* (2012). Dinamicheskie opornye reakcii v balochnyh sistemah pri svobodnyh kolebanijah. *Trudy nauchno-prakticheskoy konferencii «Nauka MIITa – transportu»*. М.: МИИТ, II-3 s.
2. *Zylev, VB, Alferov, IV* (2012). Dinamicheskie opornye reakcii v utochnennyh balochnyh shemah. *Trudy V mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Inzhenernye sistemy – 2012»*. М.: Rossijskij universitet druzhby narodov, p. 105-109.

3. Zylev, VB, Alferov, IV (2012). Dinamicheskie opornye reakcii pri svobodnyh kolebanijah plitno-balochnyh i fermennyh sistem. *Sbornik trudov «Inzhenernye sooruzhenija na transporte»*. Vypusk 4. M.: MIIT, p. 69-71.
4. Zylev, VB, Alferov, IV (2013). Dinamicheskie opornye reakcii v plitno-balochnyh sistemah, sovershajushih svobodnye kolebanija, pri sovmestnoj rabote proletnogo stroenija i opor. *Trudy VI mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Inzhenernye sistemy – 2013»*. M.: Rossijskij universitet družby narodov, p. 21-24.
5. Zylev, VB, Alferov, IV (2013). Dinamicheskie opornye reakcii v mostovoj ferme pri dvizhenii podvizhnoj nagruzki. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*. Vyp. 31 (50), Ch.2. Stroitel'nye nauki. Volgograd: VolgGASU, p. 333-336.
6. Zylev, VB, Alferov, IV (2013). Dinamicheskie opornye reakcii v mostovoj ferme pri vozdejstvii zemletrjasenija. *Sbornik materialov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya stroitel'nyh konstrukcij: innovacii, modernizacija i jenergojeffektivnost' v stroitel'stve»*, December 19-20, 2013, Tom 1. Almata: KazGASA, p. 63-68.
7. Ghayesh Mergen H, Kazemirad Siavash, Amabili Marco (2012). Coupled longitudinal-transverse dynamics of an axially moving beam with an internal resonance. *Mech. and Mach. Theory*. Vol. 52, p. 18-34.
8. Iskhakov, I, Ribakov, Y, Resnik B (2013). Vertical vibration of long span structures under dynamic loadings. *Vienna Congress on Recent Advances in Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. August 28-30, 2013, p. 70.
9. Zylev, VB (1999). Vychislitel'nye Metody v Nelinejnoj Mehanike Konstrukcij. M.: NIZ «Inzhener», 144 p.

#### DYNAMIC SUPPORT REACTIONS IN THE BEAM UNDER IMPACT

I.V. Alferov

*Moscow State University of Railway Engineering, Moscow*

The article presents the results of solving a dynamic problem on transverse impact on the beam. The problem is solved to determine the magnitude of the horizontal support reaction at standard fixing beam hinge-mobile and fixed-hinged supports. The design scheme is considered as a flat plate. For modeling of the beam and the load was used rod model of A.R. Rzhanitsina.

KEY WORDS: horizontal support reactions, numerical solution, beam, impact action.

