



## Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: [www.unistroy.spbstu.ru](http://www.unistroy.spbstu.ru)



doi: 10.18720/CUBS.73.1

### Совместная работа стальных балок перекрытия и сводов

#### Joint work of steel floor beams and vaults

Е.Г. Иванова<sup>1\*</sup>, Д.А. Страхов<sup>2</sup>, Л.Н. Синяков<sup>3</sup>,  
С.С. Зимин<sup>4</sup>

Санкт-Петербургский политехнический университет  
Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

E. Ivanova<sup>1\*</sup>, D. Strakhov<sup>2</sup>, L. Sinyakov<sup>3</sup>, S. Zimin<sup>4</sup>

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St.  
Petersburg, Russia

#### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

перекрытия;  
несущая способность;  
своды;  
стальные балки;  
совместная работа;  
балки подвальных  
перекрытий;  
прочность и жесткость;

#### KEYWORDS

overlapping;  
steel beams;  
beams of basements;  
bearing capacity;  
collaboration (joint work);  
strength and rigidity;  
vaults;

#### АННОТАЦИЯ

В зданиях дореволюционного периода постройки встречаются перекрытия, представляющие собой накат из бетона или кирпичной кладки в виде цилиндрических сводов по стальным балкам. В таких исторических зданиях замена элементов конструкций нежелательна, поэтому необходимо знать точный характер работы конструкции, чтобы избежать ненужной замены элементов. Обычно, в таких конструкциях при выполнении поверочных расчетов на стадии обследования и при проектировании совместная работа стальных балок и сводов не учитываются – рассчитываются только стальные балки, а своды учитываются лишь как дополнительная нагрузка от их собственного веса. По результатам данных расчетов, стальные балки не удовлетворяют нормативным требованиям, тогда как в реальности выдерживают большие нагрузки. В статье исследуется несоответствие результатов традиционных расчетов и действительного характера работы перекрытий в виде стальных балок и сводов. Производится расчет приближенной модели конструкции, реализованной при использовании программного комплекса «SCAD». Определяется фактическое напряженно-деформированное состояние конструкции. Исследуется влияние различных факторов на распределение моментов. В результате расчетных исследований установлено, что распределение изгибающих моментов между стальными балками сводчатых перекрытий существенно зависит как от соотношения жесткостей сводов и балок, так и от их количества в составе конкретного перекрытия. Эти обстоятельства необходимо учитывать в практических расчетах.

#### ABSTRACT

In the buildings of the pre-revolutionary construction period, overlaps are laid, representing a roll of concrete or brickwork in the form of cylindrical vaults on steel beams. In such historic buildings, the replacement of structural elements is undesirable, so it is necessary to know the exact nature of the structure in order to avoid unnecessary replacement of the elements. Usually in such designs, when carrying out verification calculations, the joint work of the steel beams and the vault is not taken into account - only the steel beams are calculated, and the vault is taken into account only as an additional load of its own weight. According to the results of these calculations, steel beams do not meet regulatory requirements, whereas in reality they can withstand high loads. The article explores the discrepancy between the results of traditional calculations and the actual nature of the work of the collaboration of steel floor beams and vaults. The article considers the calculation of the approximate model of the structure realized with the use of the software complex "SCAD". The actual stress-strain state of the structure is determined. The influence of various factors on the distribution of moments is investigated.

#### Содержание

1.	Введение	8
2.	Методы	8
3.	Результаты и обсуждение	9

3.1	Влияние жесткости связей на распределение моментов	9
3.2	Влияние размеров конечных элементов на распределение моментов	10
3.3	Влияние количества сводов и балок на распределение моментов	11
4.	Заключение	12

## 1. Введение

Конструкции в виде сводчатого перекрытия появились еще до Новой эры. Данное конструктивное решение преобразовало архитектурный облик зданий, а так же стало значительным достижением в области сопротивления материалов [1, 2]. На сегодняшний день в России сохранилось очень много старых зданий с накатом из бетона или кирпичной кладки в виде цилиндрических сводиков по стальным балкам. Многие из этих зданий входят в список памятников архитектуры [3 - 6]. Следует отметить, что замена элементов в таких исторических конструкциях нежелательна. Поэтому для определения действительного характера работы данных конструкций необходимо производить их обследование. В ряде работ отечественных и зарубежных авторов приводятся методы и особенности обследования конструкций, в частности, перекрытий зданий, а также результаты исследования их напряженно-деформированного состояния [3 - 28]. В указанных работах рассматриваются различные методы инструментального обследования конструкций, включая ультразвуковые методы неразрушающего контроля, позволяющие оценить степень повреждения и состояние конструкций.

В существующих нормативных документах (ГОСТ 31937-2011, СП 13-102-2003, СП 15.13330.2012, СП 16.13330.2011) отсутствуют методики расчета совместной работы стальных балок перекрытия и сводов. При проектировании принято рассчитывать эти конструкции традиционным для инженерной практики методом, в котором балки рассматриваются как независимые элементы системы, а своды учитываются лишь как нагрузка, приложенная к балкам [29 -31]. При таких расчетах работа сводов не учитывается, что приводит к занижению несущей способности перекрытия, тогда как в действительности его несущая способность обеспечивается [4, 10 – 13, 19, 27, 28]. Данный метод расчета имеет существенные недостатки, которые влекут за собой ошибочные выводы и лишние затраты по усилению или замене конструкций [3, 6, 8, 9, 28, 31, 32].

Данная область мало изучена, но в существующих исследованиях других авторов [33 – 42] эта проблема обсуждается и рассматриваются методы расчета балок, сводов и оболочек, в том числе и в перекрытиях. Зачастую в данных работах не учитывается

податливость связей между сводами и балками, а также трещиностойкость сводов, что в свою очередь приводит к значительному завышению несущей способности.

Цель статьи заключается в разработке рекомендаций по расчету несущей способности балок при их совместной работе со сводчатым перекрытием.

Предстоящие задачи:

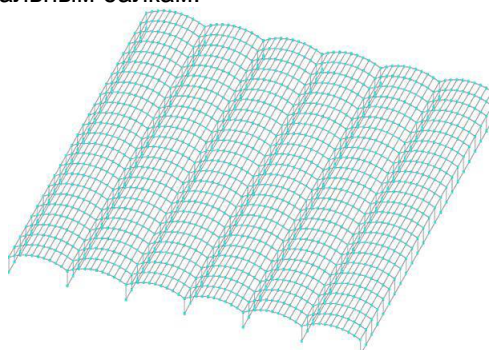
1. Изучить причины несоответствия результатов традиционных расчетов и действительного характера работы перекрытий в виде стальных балок и сводов.

2. Выявить особенности распределения изгибающих моментов в зависимости от различных факторов.

## 2. Методы

Исследование факторов, влияющих на распределение моментов

Для определения факторов, влияющих на распределение изгибающих моментов, рассматривается приближенная модель конструкции, реализованная при использовании программного комплекса «SCAD» (рис.1). Так же при помощи этого программного комплекса производится расчет фактического напряженно-деформированного состояния конструкции. На рис.1 приведена расчетная схема перекрытия в виде цилиндрических сводов по стальным балкам.



### Рисунок 1. Приближенная расчетная модель конструкции, реализованная в «SCAD»

В этой схеме своды моделируются пластинчатыми конечными элементами, а стальные балки - стержневыми элементами, связь между ними также моделируется стержневыми элементами. Если предположить отсутствие трения между стальными балками и сводами, то для исследования взаимодействия этих элементов следует использовать такие связи (стерженьки), в которых не возникает поперечных сил, что и соответствует отсутствию трения в реальной конструкции.

Описанная выше модель в некотором смысле близка к модели, использованной Жемочкиным Б.Н. и Сеницыным А.П. [33] для расчета фундаментных балок на упругом основании.

В качестве исследуемых факторов, влияющих на распределение моментов в конструкции, принимаются сечения связей, размер конечных элементов и количество сводов и балок.

Для определения влияния сечений (жесткости) связей на распределение моментов используется расчетная схема на рис. 1. Расчет произведен для двутавра номер 20 при толщине бетонного свода 0,13 м и пролете балок 6 м. Результаты расчета перекрытий

при различных поперечных сечениях металлических стержневых связей между сводами и стальными балками, длина которых принята 20 см, представлены в табл. 1.

Для исследования влияния размеров конечных элементов на распределение моментов используется та же расчетная схема, что и ранее. Расчет производится для пластинчатых конечных элементов с различными размерами при тех же параметрах балок и сводов, результаты приведены в табл. 2.

Для исследования влияния количества сводов и балок в перекрытии на распределение моментов использованы такие же параметры сводов, как и ранее. Количество сводов меняется от шести до одного, а соответствующее количество стальных балок – от семи до двух. Чтобы проследить влияние жесткости несущих стальных балок при одинаковых сводах и одинаковой нагрузке, расчеты выполнены для двух вариантов: в первом – в качестве несущих балок использованы двутавры номер 14, а во втором – двутавры номер 20.

Как и ранее своды моделируются пластинчатыми конечными элементами, а балки – стержневыми элементами, т. е. расчетная схема соответствует рис.1. Расчеты выполнены при тестовой равномерно распределенной нагрузке интенсивностью 1.0 тс/м<sup>2</sup>. Результаты расчетов для сводов и двутавровых балок номер 14 приведены в табл.3. Аналогичные результаты для двутавровых балок номер 20 представлены в табл. 4.

## 3. Результаты и обсуждение

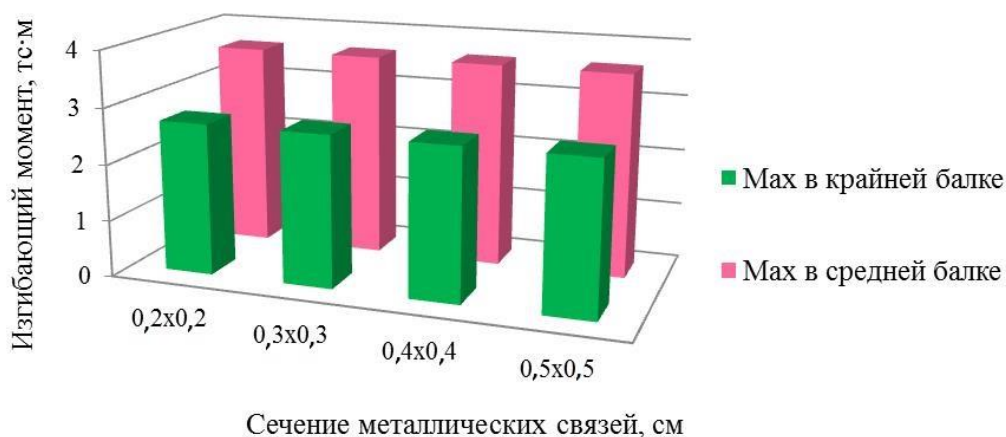
### 3.1 Влияние жесткости связей на распределение моментов

В табл.1 представлены результаты расчета перекрытий при различных поперечных сечениях металлических стержневых связей между сводами и стальными балками.

**Таблица 1. Результаты расчета стальных балок перекрытий при различных сечениях связей**

Номер	Сечение связей, см	Значение изгибающих моментов по результатам расчета в SCAD, тс·м	
		«Мах» в крайней балке	«Мах» в средней балке
1	0,2x0,2	2,7	3,63
2	0,3x0,3	2,7	3,62
3	0,4x0,4	2,7	3,62
4	0,5x0,5	2,7	3,61

На рис. 2 приведена диаграмма зависимости изгибающих моментов от сечения металлических связей по результатам табл. 1.



**Рисунок 2. Диаграмма зависимости изгибающих моментов от сечения металлических связей**

Как видно из рассмотрения результатов расчетов, при достаточно гибких связях размеры их поперечного сечения практически не влияют на распределение изгибающих моментов в балках. При этом в связях не возникает ни поперечных сил, ни изгибающих моментов.

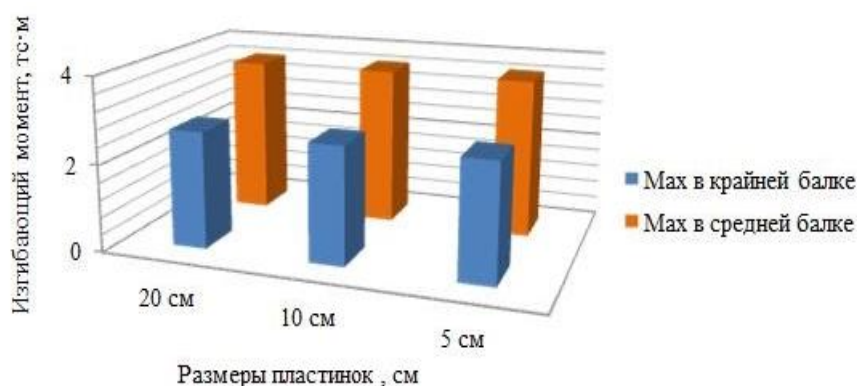
### 3.2 Влияние размеров конечных элементов на распределение моментов

Результаты расчета для определения влияния размеров пластинчатых конечных элементов на распределение изгибающих моментов приводятся в табл.2.

**Таблица 2. Результаты расчета стальных балок перекрытий при различных размерах пластинок**

Номер	Размеры пластинок, мм	Значение изгибающих моментов по результатам расчета в SCAD, тс·м	
		«Мах» в крайней балке	«Мах» в средней балке
1	200	2,71	3,63
2	100	2,70	3,65
3	50	2,70	3,65

На рис. 3 приведен график зависимости изгибающих моментов от размеров пластинок по результатам полученных данных (табл. 2).



**Рисунок 3. Диаграмма зависимости изгибающих моментов от размеров пластинок оболочки**

При анализе полученных результатов видно, что уменьшение размеров конечных элементов практически не влияет на величину изгибающих моментов в балках, что свидетельствует о хорошей внутренней сходимости метода.

### 3.3 Влияние количества сводов и балок на распределение моментов

Результаты расчетов для сводов и двутавровых балок приведены в табл.3 и табл.4, соответственно для двутавровых балок №14 и № 20.

**Таблица 3. Результаты расчета стальных балок перекрытий (двутавр №14) при различном количестве сводов**

Номер	Кол-во сводов, шт	Значения изгибающих моментов по результатам расчета в SCAD, тс·м	
		«Мах» в крайней балке	«Мах» в средней балке
1	2	3	4
2	6	2,35	2,53
3	5	2,34	2,44
4	4	2,31	2,35
5	3	2,24	2,22
6	2	2,07	2,04
7	1	1,67	

**Таблица 4. Результаты расчета стальных балок перекрытий (двутавр №20) при различном количестве сводов**

Номер	Кол-во сводов, шт	Значения изгибающих моментов по результатам расчета в SCAD, тс·м	
		«Мах» в крайней балке	«Мах» в средней балке
1	6	2,70	3,63
2	5	2,72	3,47
3	4	2,74	3,31
4	3	2,73	2,97
5	2	2,55	2,62
6	1	1,99	

На рис. 4 а,б приведены диаграммы, построенные по данным табл.3, 4 для двутавров номер 14 и номер 20.



**Рисунок 4. а) Диаграмма для балок из двутавра номер 14. б) Диаграмма для балок из двутавра номер 20**

При анализе результатов расчета следует иметь в виду, что при традиционном способе расчета изгибающий момент в средних балках составляет примерно 4.2 тс·м. Как следует из таблиц и графиков, доля общего изгибающего момента, воспринимаемого стальными балками, снижается с уменьшением числа сводов, так как число балок на один свод (или на единицу грузовой площади) возрастает.

Распределение изгибающих моментов между крайними и средними балками существенно отличается от распределения, при котором работа свода не учитывается (моменты в крайних балках должны составлять примерно половину от моментов в средних). Чем меньше влияние свода (жесткость свода относительно жесткости балки), тем больше различие в величине моментов для средних и крайних балок. Из этого следует, что при расчете совместной работы сводов и стальных балок их количество необходимо учитывать.



Приведенные выше результаты относятся к «упругой» работе сводов и балок, не учитывающей в частности образования трещин в бетонных или кирпичных сводах. Такая модель может быть использована лишь до тех пор, пока изгибающие моменты в сводах не превышают значений соответствующих моментов при образовании трещин.

Так в соответствии с действующими нормами (СП 63.13330.2012), предельный момент по образованию трещин для рассматриваемого свода приблизительно составляет 0.37 тс·м. Следует отметить, что эта величина, вероятно, является заниженной, так как не учитывает влияния контакта бетона и стальных балок. Этот фактор должен стать предметом дальнейших исследований.

## 4. Заключение

1. При достаточно гибких связях, размеры их поперечного сечения практически не влияют на распределение изгибающих моментов в балках. При этом в связях не возникает ни поперечных сил, ни изгибающих моментов, что равнозначно моделированию отсутствия трения.

2. Уменьшение размеров конечных элементов практически не влияет на величину изгибающих моментов в балках, что свидетельствует о хорошей внутренней сходимости метода.

3. Распределение изгибающих моментов между крайними и средними балками существенно отличается от распределения, при котором работа свода не учитывается. Чем меньше влияние свода, тем больше различие в величине моментов для средних и крайних балок. При расчете совместной работы сводов и стальных балок их количество необходимо учитывать.

4. Все эти расчеты выполнены по «упругой» схеме, не учитывающей в частности образования трещин в бетонных или кирпичных сводах. Такая модель может быть использована лишь до тех пор, пока изгибающие моменты в сводах не превышают значений соответствующих моментов при образовании трещин.

### Литература

- [1]. Залесский В. Г. Архитектура. Построение частей зданий. М.: И. Н. Кушнерев и Ко, 1904. 583 с.
- [2]. Стаценко В.П. Части зданий. Гражданская архитектура. М.: Государственное издательство, 1930. 656 с.
- [3]. Улыбин А. В., Лаптев Е. А. Особенности обследования перекрытий по стальным балкам с накатом в виде сводиков // Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения: материалы VI межд. науч. – практич. конференции – СПб: Изд-во Политехнического ун-та. 2015. С.95-105
- [4]. Григорьев Ю. С., Фатеев В. В. Анализ напряженно-деформированного состояния сводчатого перекрытия здания, расположенного на улице Почаинской 17 в Нижнем Новгороде // Успехи современного естествознания. 2012. №6. С. 162-167.
- [5]. Гроздов В.Т. Кирпичные своды перекрытий старых жилых и общесных зданий: Пособие по определению несущей способности сводов. М.: Санкт-Петербург: ВИТУ, 1999. 25 с.
- [6]. Кунин Ю.С., Котов В.И. Комплексное обследование памятников архитектуры для разработки проекта реставрации // Вестник МГСУ. 2011. Т. 2. № 1. С. 209-215.
- [7]. Бурак Л.Я., Рябинович Г.М. Техническая экспертиза жилых домов старой застройки // Л.: Стройиздат, 1997. 159 с.
- [8]. Федотов С.Д., Улыбин А.В., Шабров Н.Н. О методике определения коррозионного износа стальных конструкций // Инженерно-строительный журнал, 2013. № 1(36). С. 12-20.
- [9]. Улыбин А.В. О качестве инструментального обследования зданий / Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании: Сборник материалов Международной науч. конф.-М.: Изд-во МГСУ, 2015. С. 222-228.
- [10]. Зубков С.В. Улыбин А.В. Опыт определения деформационных характеристик кирпичной кладки методом плоских домкратов // Материалы VII научно-

### References

- [1]. Zaleskiy V. G. Arkhitektura. Postroyeniye chastey zdaniy. M.: I. N. Kushnerev i Ko, 1904. 583 s.
- [2]. Statsenko V.P. Chasti zdaniy. Grazhdanskaya arkhitektura. M.: Gosudarstvennoe izdatel'stvo, 1930. 656 p. (rus)
- [3]. Ulybin A. V., Laptev E. A. Osobennosti obsledovaniya perekrytiy po stal'nym balkam s nakatom v vide svodikov // Obsledovanie zdaniy i sooruzheniy: problemy i puti ikh resheniya: materialy VI mezhd. nauch. – praktich. konferentsii – SPB: Izd-vo Politekhnicheskogo un-ta. 2015. Pp.95-105. (rus)
- [4]. Grigor'yev Yu. S., Fateev V. V. Analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya svodchatogo perekrytiya zdaniya, raspolozhennogo na ulitse Pochainskoy 17 v Nizhnem Novgorode // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2012. №6. Pp. 162-167. (rus)
- [5]. Grozdov V.T. Kirpichnye svody perekrytiy starykh zhilykh i obshchensnykh zdaniy: Posobie po opredeleniyu nesushchey sposobnosti svodov. M.: Sankt-Peterburg: VITU, 1999. 25 p. (rus)
- [6]. Kunin Yu.S., Kotov V.I. Kompleksnoe obsledovanie pamyatnikov arkhitektury dlya razrabotki proekta restavratsii //Vestnik MGSU. 2011. T. 2. № 1. Pp. 209-215. (rus)
- [7]. Burak L.Ya., Ryabinovich G.M. Tekhnicheskaya ekspertiza zhilykh domov staroy zastroyki // L.: Stroyizdat, 1997. 159 p. (rus)
- [8]. Fedotov S.D., Ulybin A.V., Shabrov N.N. O metodike opredeleniya korrozionnogo iznosa stal'nykh konstruktсий // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal, 2013. № 1(36). Pp. 12-20. (rus)
- [9]. Ulybin A.V. O kachestve instrumental'nogo obsledovaniya zdaniy / Integratsiya, partnerstvo i innovatsii v stroitel'noy nauke i obrazovanii: Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauch. konf.-M.: Izd-vo MGSU, 2015. Pp. 222-228. (rus)
- [10]. Zubkov S.V. Ulybin A.V. Opyt opredeleniya deformatsionnykh kharakteristik kirpichnoy kladki metodom ploskikh domkratov // Materialy VII nauchno-prakticheskoy konferentsii «Osledovanie zdaniy i sooruzheniy: problemy i

- практической конференции «Обследование зданий и сооружений: проблемы и пути их решения», 2017. С. 145-152.
- [11]. Andreini, M., De Falco, A., Giresini, L., Sassu, M. Mechanical characterization of masonry walls with chaotic texture: Procedures and results of in-situ tests // International Journal of Architectural Heritage. 2014. Vol. 8. pp. 376-407.
- [12]. Carpinteri A., Invernizzi S., Lacidogna, G. Cracking simulation of brick-masonry elements subjected to the double flat-jack test.- Proceedings of the 6th International Conference on Structural Analysis of Historic Construction. 2008.-SAHC08 1. pp.367-3.
- [13]. S. Parivallal, K. Kesavan, K. Ravisankar, B Arun Sundram, A K Farvaze Ahmed. Evaluation of in-situ stress in masonry structures by flat jack technique.-Proceedings of the National Seminar & Exhibition on Non-Destructive Evaluation/NDE, December 8-10, №2.
- [14]. ASTM 1197 «In Situ Measurement of Masonry Deformability Properties. Using the Flat-jack Method».
- [15]. Гмырин С. Я. Влияние шероховатости контактной поверхности на показания ультразвуковых толщиномеров // Дефектоскопия. 1993. № 10. С. 29-43.
- [16]. Землянский А. А., Вертынский О. С. Опыт выявления дефектов и трещин в крупноразмерных резервуарах для хранения углеводородов // Инженерно - строительный журнал. 2011. № 7(25). С. 40-44.
- [17]. Гмырин С. Я. К вопросу о толщине стенок изделия и погрешности ее измерения в ультразвуковой толщиномерии в случае значительной коррозии поверхности ввода // Дефектоскопия. 1996. № 11. С. 49-63.
- [18]. Сорокин Ю. Н. Ультразвуковые методы неразрушающего контроля // Сб. ВИНТИ. Итоги науки и техники: Метрология и измерительная техника. 1979. Т.4. С.253-290.
- [19]. Юнникова В. В. Исследование и разработка методов и средств повышения достоверности ультразвукового контроля толщины: дис. канд. техн. наук. // Хабаровск, 1999. 107 с.
- [20]. Самокрутов А. А., Шевальдыкин В. Г., Козлов В. Н., Алехин С. Т., Мелешко И. А., Пастушков П. С. А 1207 - Ультразвуковой толщиномер нового поколения // В мире НК. 2001. № 2(12). С. 23-24.
- [21]. Fowler K.A., Elfbaum G. M., Smith K. A., Nelligan T. J. Theory and application of precision ultrasonic thickness gaging [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ndt.net/article/w...> (дата обращения: 27.02.2017).
- [22]. Юнникова В. В. О достоверности ультразвукового контроля толщины // Контроль и диагностика. 1999. № 9. С. 31-34.
- [23]. Broberg P., Runnemalm A., Sjodahl M. Improved corner detection by ultrasonic testing using phase analysis// Ultrasonics. 2013. № 53(2). pp. 630-634.
- [24]. Самокрутов А. А., Козлов В. Н., Шевальдыкин В. Г. New approaches and hardware means of ultrasonic thickness measurement with the usage of one-element single probes // 8th European conference on Non-Destructive Testing, Barcelona. 17-21 June. 2002. pp. 134.
- [25]. Introduction to Phased Array Ultrasonic Technology Applications: R/D Tech Guideline. Quebec: R/D Tech inc.. 2004. 368 p.
- [26]. Tang R., Wang S., Zhang Q. Study in ultrasonic flaw detection for small-diameter steel pipe with thick wall // International Journal of Digital Content Technology and its Applications. 2012. № 6(16). pp. 17-27.
- [27]. Xiong R., Lu Z., Ren Z., Xu C. Experimental research on small diameter concrete-filled steel tubular by ultrasonic detection // Applied Mechanics and Materials. 2012. Vol. 145-152.
- [11]. Andreini, M., De Falco, A., Giresini, L., Sassu, M. Mechanical characterization of masonry walls with chaotic texture: Procedures and results of in-situ tests // International Journal of Architectural Heritage. 2014. Vol. 8. pp. 376-407.
- [12]. Carpinteri A., Invernizzi S., Lacidogna, G. Cracking simulation of brick-masonry elements subjected to the double flat-jack test.- Proceedings of the 6th International Conference on Structural Analysis of Historic Construction. 2008.-SAHC08 1. pp.367-3.
- [13]. S. Parivallal, K. Kesavan, K. Ravisankar, B Arun Sundram, A K Farvaze Ahmed. Evaluation of in-situ stress in masonry structures by flat jack technique.-Proceedings of the National Seminar & Exhibition on Non-Destructive Evaluation/NDE, December 8-10, №2.
- [14]. ASTM 1197 «In Situ Measurement of Masonry Deformability Properties. Using the Flat-jack Method».
- [15]. Gmyrin S. Ya. Vliyanie sherokhovatosti kontaktnoy poverkhnosti na pokazaniya ultrazvukovykh tolshchinomerov // Defektoskopiya. 1993. № 10. Pp. 29-43. (rus)
- [16]. Zemlyanskiy A. A., Vertynskiy O. S. Opyt vyyavleniya defektov i treshchin v krupnorazmernykh rezervuarakh dlya khraneniya uglevodorodov // Inzhenerno - stroitel'nyy zhurnal. 2011. № 7(25). Pp. 40-44. (rus)
- [17]. Gmyrin S. Ya. K voprosu o tolshchine stенок izdeliya i pogreshnosti ee izmereniya v ul'trazvukovoy tolshchinometrii v sluchae znachitel'noy korrozii poverkhnosti vvoda // Defektoskopiya. 1996. № 11. Pp. 49-63. (rus)
- [18]. Sorokin Yu. N. Ul'trazvukovye metody nerazrushayushchego kontrolya // Sb. VINITI. Itogi nauki i tekhniki: Metrologiya i izmeritel'naya tekhnika. 1979. T.4. Pp.253-290. (rus)
- [19]. Yunnikova V. V. Issledovanie i razrabotka metodov i sredstv povysheniya dostovernosti ul'trazvukovogo kontrolya tolshchiny: dis. kand. tekhn. nauk. // Khabarovsk, 1999. 107 p. (rus)
- [20]. Samokrutov A. A., Shevaldykin V. G., Kozlov V. N, Alekhin S. T., Meleshko I. A., Pastushkov P. S. A 1207 - Ul'trazvukovoy tolshchinomer novogo pokoleniya // V mire NK. 2001. № 2(12). Pp. 23-24. (rus)
- [21]. Fowler K.A., Elfbaum G. M., Smith K. A., Nelligan T. J. Theory and application of precision ultrasonic thickness gaging [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ndt.net/article/w...> (дата обращения: 27.02.2017).
- [22]. Yunnikova V. V. O dostovernosti ul'trazvukovogo kontrolya tolshchiny // Kontrol' i diagnostika. 1999. № 9. Pp. 31-34. (rus)
- [23]. Broberg P., Runnemalm A., Sjodahl M. Improved corner detection by ultrasonic testing using phase analysis// Ultrasonics. 2013. № 53(2). Pp. 630-634
- [24]. Samokrutov A. A., Kozlov V. N., Shevaldykin V. G. New approaches and hardware means of ultrasonic thickness measurement with the usage of one-element single probes // 8th European conference on Non-Destructive Testing, Barcelona. 17-21 June. 2002. Pp. 134.
- [25]. Introduction to Phased Array Ultrasonic Technology Applications: R/D Tech Guideline. Quebec: R/D Tech inc.. 2004. 368 p.
- [26]. Tang R., Wang S., Zhang Q. Study in ultrasonic flaw detection for small-diameter steel pipe with thick wall // International Journal of Digital Content Technology and its Applications. 2012. № 6(16). pp. 17-27.
- [27]. Xiong R., Lu Z., Ren Z., Xu C. Experimental research on small diameter concrete-filled steel tubular by ultrasonic detection // Applied Mechanics and Materials. 2012. Vol.

- detection for small-diameter steel pipe with thick wall // International Journal of Digital Content Technology and its Applications. 2012. № 6(16). pp. 17-27.
- [27]. Xiong R., Lu Z., Ren Z., Xu C. Experimental research on small diameter concrete-filled steel tubular by ultrasonic detection // Applied Mechanics and Materials. 2012. Vol. 226-228. pp. 1760-1765.
- [28]. Улыбин А.В., Зубков С.В. О методах контроля прочности керамического кирпича при обследовании зданий и сооружений // Инженерно-строительный журнал. 2012. №3. С. 29-34.
- [29]. Лахтин Н.К. Расчет арок и сводов. Руководство к аналитическому и графическому расчету арок и сводчатых перекрытий. М.: Типография Т-ва И.Н. Кушнерова и К, 1911. 493 с.
- [30]. Бернгард В.Р. Арки и своды. Руководство к устройству и расчету арок и сводчатых перекрытий. СПб.: Типография Ю.Н. Эрлих, 1901. 128 с.
- [31]. Разживин А.В. Учет несущей способности бетонных сводов при поверочных расчетах сталебетонных перекрытий // Промышленное и гражданское строительство, 2013. №3. С. 45-46.
- [32]. Лаптев Е. А., Улыбин А. В., Соколов В. А. Оценка несущей способности перекрытий по стальным балкам с накатом в виде сводиков в зданиях Санкт-Петербурга // Выпускная квалификационная работа магистра, 2016
- [33]. Жемочкин Б. Н., Синицын А. П. Практические методы расчета фундаментных балок и плит на упругом основании. М., Госстройиздат, 1962, 240 с.
- [34]. Фролов А.В., Зимин С.С., Комаринский М.В. Магистерская диссертация. Влияние жесткости сводчатого заполнения на несущую способность балок. Saint Petersburg, 2017. (rus)
- [35]. Соколов В.А., Страхов Д.А., Синяков Л.Н., Васютина С.В. Напряженное состояние защитных оболочек в зоне отверстий вследствие кривизны преднапряженных элементов // Инженерно-строительный журнал. 2017. № 2. С.33-41
- [36]. Gattesco, Natalino; Macorini, Lorenzo. Structural performance of old composite floors made up of wrought iron joists and masonry vaults. Source: Applied Mechanics & Materials . 2015, Vol. 796, p13-24. 12p.
- [37]. E. Tersigni. Prefabricated steel joist adapted for the reinforcement of floors // 6 Sheets. July 15. 1962. P. 3,256,670.
- [38]. Peter Collins. The Vision of a New Architecture // McGill-Queen's University Press, 2004. P.472.
- [39]. R. P. Johnson. Composite Structures of Steel and Concrete: Beams, Slabs, Columns, 2008 - p: 248.
- [40]. Oehlers, D. (1992). "Reinforced Concrete Beams with Plates Glued to their Soffits." J. Struct. Eng., 10.1061/(ASCE)0733-9445(1992)118:8(2023), 2023-2038.
- [41]. Wang, C. K., Salmon, C.G. Reinforced concrete design //1979. p.: 918.
- [42]. Vecchio, F. and Collins, M. (1993). "Compression Response of Cracked Reinforced Concrete." J. Struct. Eng., 10.1061/(ASCE)0733-9445(1993)119:12(3590), 3590-3610.
- 226-228. pp. 1760-1765.
- [28]. Ulybin A.V., Zubkov S.V. O metodakh kontrolya prochnosti keramicheskogo kerpicha pri obsledovanii zdaniy i sooruzheniy // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. 2012. №3. Pp. 29-34. (rus)
- [29]. Lakhtin N.K. Raschet arok i svodov. Rukovodstvo k analiticheskomu i graficheskomu raschetu arochnykh i svodchatykh perekrytiy. M.: Tipografiya T-va I. N. Kushnerev i K, 1911. 493 p. (rus)
- [30]. Bergard V.R. Arki i svody. Rukovodstvo k ustroystvu i raschetu arochnykh i svodchatykh perekrytiy. SPb.: Tipografiya Yu.N. Erlikh, 1901. 128 p. (rus)
- [31]. Razzhivin A.V. Uchet nesushchey sposobnosti betonnykh svodov pri poverochnykh raschetakh stalebetonnykh perekrytiy // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo, 2013. №3. Pp. 45-46. (rus)
- [32]. Laptev E. A., Ulybin A. V., Sokolov V. A. Otsenka nesushchey sposobnosti perekrytiy po stal'nym balkam s nakatom v vide svodikov v zdaniyakh Sankt-Peterburga // Vypusknaya kvalifikatsionnaya rabota magistra, 2016. (rus)
- [33]. Zhemochkin B. N., Sinitsyn A. P. Prakticheskie metody rascheta fundamentnykh balok i plit na uprugom osnovanii. M., Gosstroyizdat, 1962, 240 p. (rus)
- [34]. Frolov A.V., Zimin S.S., Komarinский M.V. Magisterskaya dissertatsiya. Vliyaniye zhestkosti svodchatogo zapolneniya na nesushchuyu sposobnost' balok. Saint Petersburg, 2017. (rus)
- [35]. Sokolov V.A., Strakhov D.A., Sinyakov L.N., Vasyutina S.V. Napryazhennoe sostoyaniye zashchitnykh obolochek v zone otverstiy vsledstviy krivizny prednapryazhennykh elementov // Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal. 2017. № 2. Pp.33-41. (rus)
- [36]. Gattesco, Natalino; Macorini, Lorenzo. Structural performance of old composite floors made up of wrought iron joists and masonry vaults. Source: Applied Mechanics & Materials . 2015, Vol. 796, p13-24. 12p.
- [37]. E. Tersigni. Prefabricated steel joist adapted for the reinforcement of floors // 6 Sheets. July 15. 1962. P. 3,256,670.
- [38]. Peter Collins. The Vision of a New Architecture // McGill-Queen's University Press, 2004. P.472.
- [39]. R. P. Johnson. Composite Structures of Steel and Concrete: Beams, Slabs, Columns, 2008 - p: 248.
- [40]. Oehlers, D. (1992). "Reinforced Concrete Beams with Plates Glued to their Soffits." J. Struct. Eng., 10.1061/(ASCE)0733-9445(1992)118:8(2023), 2023-2038.
- [41]. Wang, C. K., Salmon, C.G. Reinforced concrete design //1979. p.: 918.
- [42]. Vecchio, F. and Collins, M. (1993). "Compression Response of Cracked Reinforced Concrete." J. Struct. Eng., 10.1061/(ASCE)0733-9445(1993)119:12(3590), 3590-3610.

#### Контактная информация

- 1.\* +7(960)2511300, eylenkaivanova@gmail.com (Иванова Елена Георгиевна, студент)
2. +7(921)3274671, sdaleks2008@rambler.ru (Страхов Дмитрий Александрович, к.т.н., доцент)
3. +7(921)3178631, cbyzrjd\_45@mail.ru (Синяков Леонид)

#### Contact information

- 1.\* +7(960)2511300, eylenkaivanova@gmail.com (Ivanova Elena, Student)
2. +7(921)3274671, sdaleks2008@rambler.ru (Strakhov Dmitry, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor)



- 
- |   |   |
|---|---|
| Николаевич, к.т.н., доцент)   | 3. +7(921)3178631, cbyzrjd_45@mail.ru (Sinyakov Leonid, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor) |
| 4. +7(921)3477701, zimin_serгей@mail.ru (Зимин Сергей Сергеевич, старший преподаватель) | 4. +7(921)3477701, zimin_serгей@mail.ru (Zimin Sergej, Senior Lecturer)   |
- 

© Иванова Е.Г., Страхов Д.А., Синяков Л.Н., Зимин С.С., 2018