



УДК 624.014:624.042

В. В. ПРОНИН, доц. кафедры строительных конструкций

К РАСЧЕТУ БАЗЫ ЦЕНТРАЛЬНО СЖАТЫХ КОЛОНН СПЛОШНОГО СЕЧЕНИЯ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-54-80;
эл. почта: pvv-1947@mail.ru

Ключевые слова: базы колонн, расчет плит, метод Бубнова-Галеркина, сварные швы, напряженно-деформированное состояние.

Приведены расчеты типовых конструкций баз центрально сжатых колонн сплошного сечения. Сравниваются результаты традиционных ручных расчетов и расчетов 3D-моделей с помощью расчетного комплекса IDEASTaTiCa 21.1. Приведены особенности поведения конструкции при более точном ее расчете.

Одним из методов снижения веса традиционных стальных конструкций является применение более точных способов расчета, учитывающих реальные условия и особенности работы материала и соединений.

Базы колонн, являясь их обязательной конструктивной частью, существенно увеличивают металлоемкость и влияют на стоимость изготовления и монтажа.

Анализируя современные предлагаемые методы расчета баз колонн, можно сделать вывод о том, что за почти три четверти века ничего не изменилось. Сравнивая, например, учебники 1948 г. [1] и 2021 г. [2], а также СП 16.13330 [3], констатируем полное совпадение.

Главной частью базы является опорная плита, толщина которой определяется максимальным изгибающим моментом в ней. Моменты в пределах характерных участков плиты определяются по методике, предложенной Б. Г. Галеркиным и основанной на его работах по решению дифференциальных уравнений, описывающих поведение под нагрузкой гибких плит. Первая такая работа была опубликована в 1915 г. [4], и в дальнейшем предложенный автором способ стал называться методом Галеркина. Часто этот метод называют еще методом Бубнова-Галеркина, т. к. И. Г. Бубнов раньше самого Б. Г. Галеркина описал такое решение [4].

Отметим важные факторы, не учитываемые в традиционной методике расчета баз колонн:

- неравномерность реактивных напряжений в бетоне фундамента в зоне контакта с опорной плитой вплоть до появления ненагруженных участков;
- реальные граничные условия для участков плит в отличие от использования идеальных условий (шарнирное опирание, жесткое защемление);
- деформированное состояние конструкции и влияние возможных концентраторов напряжений;
- неравномерность распределения напряжений в сварных швах;
- геометрическая и физическая нелинейность поведения расчетной модели при достижении предельного состояния.

Рассмотрим три решения баз:

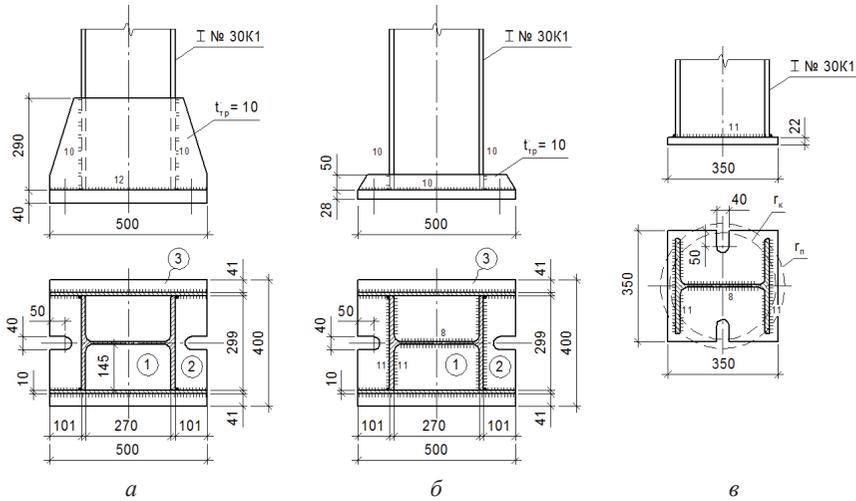
а) база с траверсами, торец колонны не фрезерован; стержень колонны не касается плиты, нагрузка на нее передается через траверсы;

б) база с траверсами минимальной высоты, торец колонны фрезерован; стержень

жень колонны приварен к плите, нагрузка на нее передается через сварные швы; траверсы в этом случае только подкрепляют плиту;

в) база с фрезерованным торцом колонны, без траверс; стержень колонны приварен к плите, нагрузка на нее передается через сварные швы.

В качестве примеров предлагаются базы колонн, рассчитанные традиционным методом в готовящемся к публикации учебном пособии (рисунок) при следующих исходных данных: $N = 1406$ кН; сталь С255Б и С255; бетон В20; отношение площади верхнего среза фундамента к площади плиты – 2.



Конструкция базы: а – с траверсами полной высоты; б – с траверсами минимальной высоты; в – с фрезерованным торцом колонны

При применении бетона В20 ($R_b = 11,5$ МПа – табл. 6.8 [5]; $R_{b,loc} = 14,5$ МПа) требуемая площадь плиты $A_{пл,мп} = 970$ см², что меньше принятых конструктивно площадей (2000 см² и 1225 см² для решений а) и в) соответственно.

При применении бетона В15 ($R_b = 8,5$ МПа; $R_{b,loc} = 10,7$ МПа) $A_{пл,мп} = 1314$ см², что также меньше $A_{пл,мп}$.

При применении бетона В10 ($R_b = 6$ МПа; $R_{b,loc} = 7,6$ МПа) $A_{пл,мп} = 1850$ см², что меньше $A_{пл,тр}$ для решения а), но больше для решения в), где требуется плита $L_{пл} \times B_{пл} = 430 \times 430$ мм. Толщина плиты в этом случае составит $t_{пл} = 28$ мм. Расчет произведен прямым методом, путем решения биквадратного уравнения.

Оптимальным классом прочности бетона для фундамента для рассматриваемых конструкций баз будут бетон В10 для базы с траверсами и В15 для базы с фрезерованным торцом колонны без траверс.

Произведем расчеты баз в программном комплексе *IDEA StatiCa 21.1* [6], позволяющим учесть все вышеприведенные факторы, не учитываемые в ручных традиционных расчетах. В основу комплекса заложен компонентный метод конечных элементов (МККЭ). Модель рассматривается как совокупность связанных друг с другом компонентов, воспринимающих заданную нагрузку.

Рассчитываемыми моделями будут базы, рассмотренные выше. Основные результаты расчетов сведем в табл. 1. В этой же таблице приведены результаты расчетов при уменьшении толщины плиты до величины, при которой не выполняется условие прочности бетона или до минимальной величины, принимаемой 10 мм.



На рис. 1 и 2 цв. вклейки показаны поля приведенных напряжений в базе с траверсами с толщиной плиты 40 и 18 мм соответственно, в плите и в бетоне фундамента под плитой.

На рис. 3 и 4 цв. вклейки показаны поля приведенных напряжений в базе с траверсами минимальной высоты с толщиной плиты 18 и 10 мм соответственно, в плите и в бетоне фундамента под плитой.

На рис. 5 и 6 цв. вклейки показаны поля приведенных напряжений в базе без траверс с толщиной плиты 22 и 18 мм соответственно, в плите и в бетоне фундамента под плитой.

Анализируя результаты расчетов и рис. 1–6 цв. вклейки, можно сделать следующие выводы:

1) для базы варианта а):

- даже при резком уменьшении толщины плиты (с 40 до 14 мм) ее несущая способность обеспечена; ограничение дальнейшего уменьшения толщины наступает из-за невыполнения условия прочности бетона, что может быть снято увеличением площади верхнего обреза фундамента или класса прочности бетона;
- существует некая оптимальная толщина плиты (18-20 мм), при которой напряжения в ней минимальны;
- напряженное состояние траверс при уменьшении толщины плиты улучшается – в них пропадают пластические деформации;
- напряженное состояние сварных швов при изменении толщины плиты практически не изменяется;
- при уменьшении толщины плиты увеличивается неработающая часть бетона фундамента.

Таблица 1

Вариант базы	$t_{пл},$ мм	Коэффициент использования бетона фундамента	Коэффициент использования сварных швов	% пластических деформаций		Приведенные напряжения, МПа		N_a * кН
				Плита	Траверсы	Плита	Траверсы	
а)	40	0,688	0,987	0	0,01	165	249	0
	30	0,748	0,984		0,014	135	249	4,4
	25	0,849	0,984		0,011	103	249	9,6
	20	0,949	0,984		0,004	85	249	12,5
	18	0,977	0,984		0,001	85	246	12,8
	16	1,007	0,984		0	97	236	12,6
	14	1,041	0,977		0	124	221	11,8
б)	18	0,692	0,970	0	0	151	145	0
	16	0,692	0,980			165	149	
	14	0,698	0,977			182	152	
	12	0,731	0,977			201	153	
	10	0,761	0,978			225	153	0,8
в)	22	0,971	0,972	0	-	204	-	4,8
	20	0,991	0,972		-	216	-	8,4
	18	1,002	0,972		-	228	-	11,4

* усилие в анкерном болте

**К СТАТЬЕ В. В. ПРОНИНА
«К РАСЧЕТУ БАЗЫ ЦЕНТРАЛЬНО СЖАТЫХ КОЛОНН
СПЛОШНОГО СЕЧЕНИЯ»**

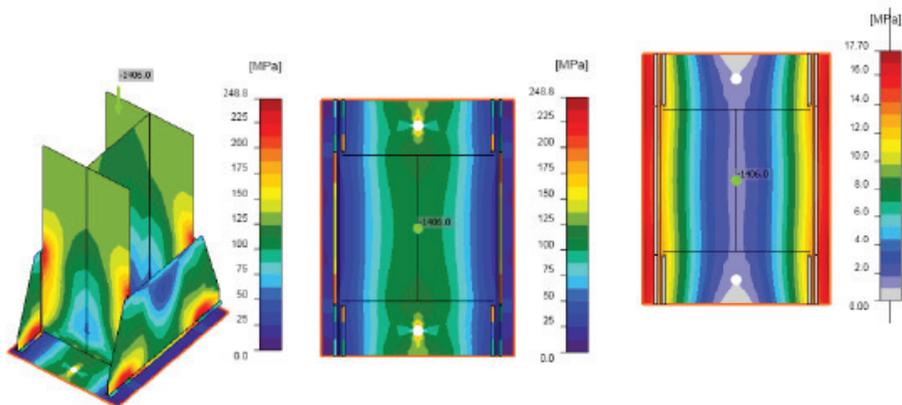


Рис. 1. База с трассерами, $t_{nl} = 40$ мм. Приведенные напряжения в базе, плите и бетоне фундамента

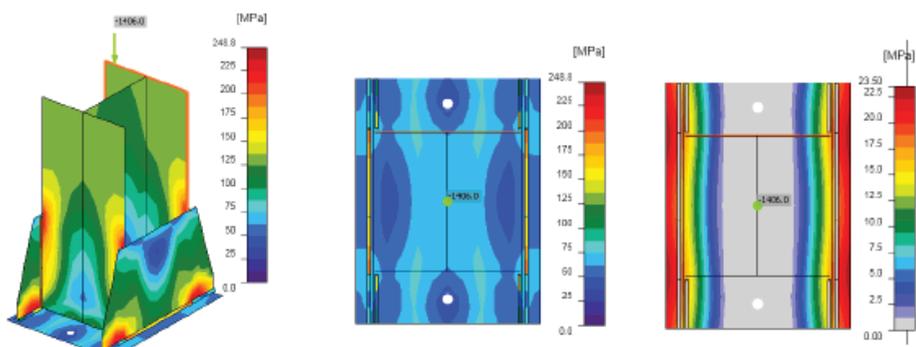


Рис. 2. База с трассерами, $t_{nl} = 18$ мм. Приведенные напряжения в базе, плите и бетоне фундамента

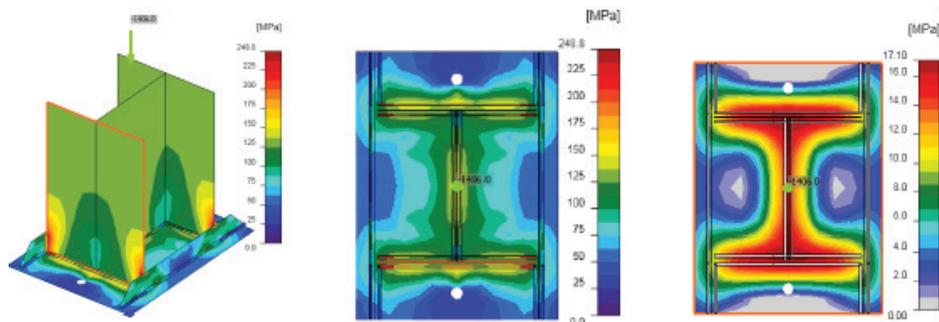


Рис. 3. База с трассерами минимальной высоты, $t_{nl} = 18$ мм. Приведенные напряжения в базе, плите и бетоне фундамента

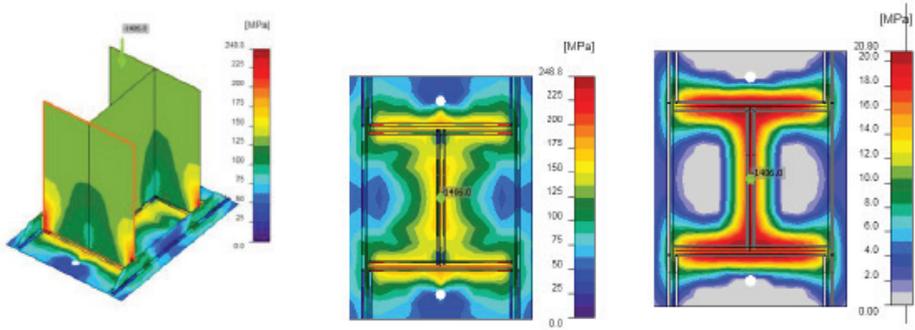


Рис. 4. База с траверсами минимальной высоты, $t_{пл} = 10$ мм. Приведенные напряжения в базе, плите и бетоне фундамента

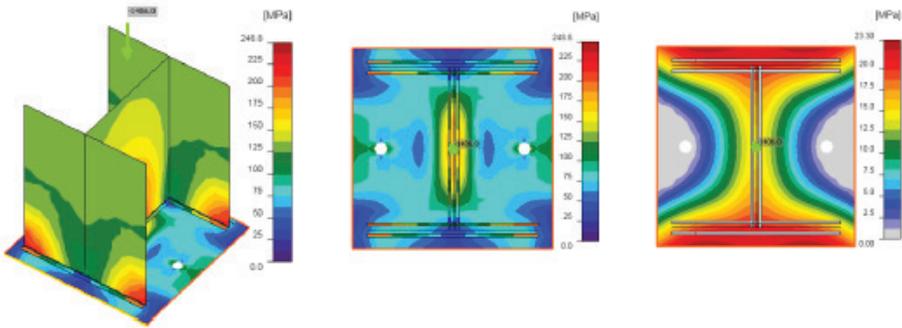


Рис. 5. База без траверс, $t_{пл} = 22$ мм. Приведенные напряжения в базе, плите и бетоне фундамента

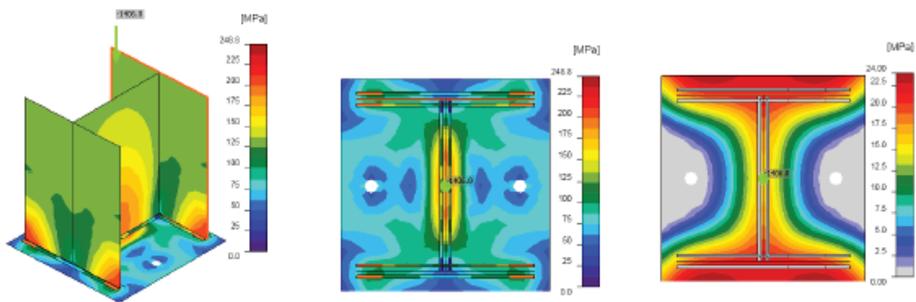


Рис. 6. База без траверс, $t_{пл} = 18$ мм. Приведенные напряжения в базе, плите и бетоне фундамента



– начиная с толщины плиты 30 мм в анкерных болтах из-за изгиба плиты появляется растягивающее усилие, которое увеличивается с уменьшением толщины плиты;

– чем толще плита, тем невыгоднее применять бетон высоких классов прочности;

2) для базы варианта б):

– наличие траверсы минимальной высоты значительно улучшает работу плиты: даже при толщине 10 мм ее несущая способность обеспечена;

– несущая способность траверс обеспечена с запасом;

3) для базы варианта в):

– ограничение существенного уменьшения толщины плиты наступает из-за невыполнения условия прочности бетона, что может быть снято увеличением площади верхнего обреза фундамента или класса прочности бетона;

– при всех рассмотренных толщинах плиты в анкерных болтах появляется растягивающее усилие, которое увеличивается с уменьшением толщины плиты.

Принятые по результатам расчетов в программном комплексе толщины плит:

– база с траверсами полной высоты – 18 мм;

– база с траверсами минимальной высоты – 12 мм (конструктивно);

– база без траверс – 18 мм.

Весовые характеристики рассмотренных вариантов баз сведем в табл. 2.

Таблица 2

Вариант базы	Вес (кг)					
	Ручной расчет			Расчет в программном комплексе		
	Плита	Траверсы	Всего	Плита	Траверсы	Всего
С траверсами полной высоты	62,8	19,9	82,7	28,3	19,9	48,2
С траверсами минимальной высоты	44	3,7	47,7	18,9	3,7	22,6
Без траверс	21,2	-	21,2	17,3	-	17,3

Сравнивая экстремальные значения веса элементов баз, видно, что переход на конструкцию базы без траверс даже при ручном расчете дает уменьшению веса в 3,9 раза, а при уточненном расчете с помощью программного комплекса – в 4,8 раза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стальные конструкции / Н. С. Стрелецкий, А. Н. Гениев, В. А. Балдин [и др.] ; под общей редакцией Н. С. Стрелецкого. – Москва : Государственное издательство строительной литературы, 1947. – 599 с. : ил. – Текст : непосредственный.

2. Проектирование металлических конструкций. Часть 1: Металлические конструкции. Материалы и основы проектирования : учебник для вузов / С. М. Тихонов, В. Н. Алехин, З. В. Беляева [и др.] ; под общей ред. А. Р. Туснина – Москва : Перо, 2021. – 468 с. : ил. – Текст : непосредственный.

3. Стальные конструкции: СП 16.13330.2017: актуализированная редакция СНиП II-23-81*: дата введения 28.08.17 / Минстрой России. – Издание официальное. – Москва: Стандартинформ, 2017. – V, 144 с.: ил. – (Свод правил). – Текст : непосредственный.

4. История метода Галеркина и его роль в творчестве М. В. Келдыша / Н. Г. Афондикова. – Москва : ИПМ им. М. В. Келдыша РАН, 2014. – 16 с. : портр., факс.; 21 см. – (Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша = Keldysh institute preprints / Институт прикладной математики



им. М. В. Келдыша Российской академии наук, ISSN 2071-2898 ; 2014, № 77). – Текст : непосредственный.

5. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции : актуализированная редакция СНиП 52-01-2003 : дата введения 20.06.2019 г. / Минстрой России. – Издание официальное. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 148 с. – (Свод правил). – Текст : непосредственный.

6. IDEA StatiCa Connection : вводное пособие / НИП «Информатика». – Санкт-Петербург, 2021. – Текст : непосредственный.

PRONIN Vladislav Valerevich, associate professor of the chair of building structures

TO THE CALCULATION OF THE BASE OF CENTRALLY COMPRESSED COLUMNS OF SOLID SECTION

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering

65 Ilyinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-54-80;
e-mail: pvv-1947@mail.ru

Key words: column bases, plate calculation, Bubnov-Galerkin method, welds, stress-strain state.

Calculations of typical designs of bases of centrally compressed columns of solid section are given. The results of traditional manual calculations and calculations of 3D models using the IDEA StatiCa 21.1 calculation complex are compared. Specific behavior of a structure with its more accurate calculation is described.

REFERENCES

1. Stalnye konstruksii [Steel structures]. N.S. Streletsky, A.N. Geniev, V.A. Baldin, et al.: pod obschey red. N.S. Streletskogo. Moscow : Gos. izd-vo stroit. literatury, 1947. – 599 p., il.

2. Proektirovanie metallicheskikh konstruksiy. Chast 1: Metallicheskie konstruksii. Materialy i osnovy proektirovaniya [Design of metal structures. Part 1: Metal constructions. Materials and fundamentals of design]: ucheb. dlya vuzov / S.M. Tikhonov, V.N. Alyokhin, Z.V. Belyaeva, et al.; pod obschey red. A.R. Tusnina. – Moscow : Pero, 2021. – 468 p., il.

3. Afendikova N. G. Istoriya metoda Galerkina i ego rol v tvorchestve M.V. Keldysha [The history of the Galerkin method and its role in the work of M.V. Keldysh]. – Moscow : IPM im. M. V. Keldysha RAN, 2014. – 16 p. : portr., faks.; 21 sm. – (Preprinty IPM im. M.V. Keldysha. In-t prikladnoy matematiki im. M.V. Keldysha Ross. akademii nauk, ISSN 2071-2898 ; 2014. № 77.

4. Stalnye konstruksii [Steel structures]: SP 16.13330.2017: aktualizirovannaya red. SNiP II-23-81* : data vved. 28.08.17 / Minstroy Rossii. – Moscow: Standartinform, 2017. – V, 144 p.: il. – (Svod pravil).

5. SP 63.13330.2018. Betonnye i zhelezobetonnye konstruksii [Concrete and reinforced concrete structures]: aktualizirovannaya red. SNiP 52-01-2003: data vved. 20.06.2019 / Minstroy Rossii. – Moscow: Standartinform, 2018. – 148 p. (Svod pravil).

6. IDEA Static Connection. Vvodnoe posobie [Introductory manual]. NIP "Informatica", Saints-Petersburg, 2021.

© **В. В. Пронин, 2023**

Получено: 26.12.2022 г.