



(20)-0411-1

## ВЛИЯНИЕ ОСАДКИ ОПОР НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ СТРУКТУРНОГО ПОКРЫТИЯ ТИПА «КИСЛОВОДСК»

И. В. Роменский<sup>1</sup>, А. Ю. Гладких<sup>2</sup>, Н. А. Тарасенко<sup>3</sup>

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
2, ул. Державина, г. Макеевка, ДНР, 86123.

E-mail: <sup>1</sup> riv\_2005@mail.ru, <sup>2</sup> gladkich.a1997@gmail.com, <sup>3</sup> Nonna\_tarasenko@mail.ru

Получена 28 августа 2020; принята 25 сентября 2020.

**Аннотация.** Данная статья посвящена вопросам проектирования пространственных решетчатых конструкций структурных покрытий типа «Кисловодск». В работе приведены результаты исследования влияния осадки опоры на напряженно-деформированное состояние структурного покрытия с размерами в плане 30×30 м. Были рассчитаны параметры напряженно-деформированного состояния структурной плиты в зависимости от осадок опоры. Выявлены элементы структурной плиты, в которых в зависимости от величины осадки опоры усилия превышают несущую способность. Это позволяет прогнозировать возможные дефекты, возникающие при эксплуатации объекта. Проанализировано перераспределение усилий в элементах от величины осадки опоры. Выявлены зависимости между усилиями и осадкой опоры. Полученные параметры напряженно-деформированного состояния могут быть использованы при проектировании или обследовании пространственных решетчатых конструкций структурных покрытий типа «Кисловодск».

**Ключевые слова:** структурное покрытие, пространственная решетчатая конструкция, напряженно-деформированное состояние, осадка опоры.

## ВПЛИВ ОСІДАННЯ ОПОР НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН СТРУКТУРНОГО ПОКРИТТЯ ТИПУ «КИСЛОВОДСЬК»

І. В. Роменський<sup>1</sup>, О. Ю. Гладких<sup>2</sup>, Н. А. Тарасенко<sup>3</sup>

ДОНУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»,  
2, вул. Державіна, м. Макіївка, ДНР, 86123.

E-mail: <sup>1</sup> riv\_2005@mail.ru, <sup>2</sup> gladkich.a1997@gmail.com, <sup>3</sup> Nonna\_tarasenko@mail.ru

Отримана 28 серпня 2020; прийнята 25 вересня 2020.

**Анотація.** Дана стаття присвячена питанням проектування просторових ґратчастих конструкцій структурних покриттів типу «Кисловодськ». У роботі наведені результати дослідження впливу осідання опори на напружено-деформований стан структурного покриття з розмірами в плані 30×30 м. Були розраховані параметри напружено-деформованого стану структурної плити залежно від осідання опори. Виявлено елементи структурної плити, в яких залежно від величини осідання опори зусилля перевищують несучу здатність. Це дозволяє прогнозувати можливі дефекти, що виникають при експлуатації об'єкта. Проаналізовано перерозподіл зусиль в елементах від величини осідання опори. Виявлено залежності між зусиллями і осіданням опор. Отримані параметри напружено-деформованого стану можуть бути використані при проектуванні або обстеженні просторових ґратчастих конструкцій структурних покриттів типу «Кисловодськ».

**Ключові слова:** структурні покриття, просторова ґратчаста конструкція, напружено-деформований стан, осідання опори.

## INFLUENCE OF SUPPORT SETTLEMENT ON THE STRESS-STRAIN STATE OF THE KISLOVODSK TYPE STRUCTURAL COATING

Igor Romenskii<sup>1</sup>, Alexey Gladkikh<sup>2</sup>, Nonna Tarasenko<sup>3</sup>

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
2, Derzhavina Str., Makeyevka, DPR, 86123.*

*E-mail: <sup>1</sup> riv\_2005@mail.ru, <sup>2</sup> gladkikh.a1997@gmail.com, <sup>3</sup> Nonna\_tarasenko@mail.ru*

*Received 28 August 2020; accepted 25 September 2020.*

**Abstract.** This article is devoted to the design of spatial lattice structures of structural coatings of the Kislovodsk type. The paper presents the results of a study of the influence of support settlement on the stress-strain state of a structural coating with dimensions in the plan of 30×30 m. The parameters of the stress-strain state of the structural plate were calculated depending on the of the support settlement. It has been determined structural slab elements in which the forces exceed the bearing capacity, depending on support settlement size. This allows you to predict possible defects that occur during operation of the facility. The redistribution of forces in the elements from the size of the support settlement is analyzed. Dependencies between the efforts and support settlement have been also determined. The obtained parameters of the stress-strain state can be used in the design or examination of spatial lattice structures of structural coatings of the Kislovodsk type.

**Keywords:** structural coating, spatial lattice structure, stress-strain state, support settlement.

### Формулировка проблемы

Структурные покрытия в силу ряда своих преимуществ нашли широкое применение в строительстве промышленных и гражданских зданий [1–3]. Модули этих металлоконструкций имеют высокую унификацию, технологичны в изготовлении, надежны и вместе с тем позволяют создавать самые разнообразные архитектурно выразительные объекты [7–9]. При столь быстрых темпах развития этих конструкций возникла необходимость в более детальном изучении их работы в процессе эксплуатации. Исходя из этого в данной работе проанализировано влияние возможной осадки опор на напряженно-деформированное состояние элементов структурного покрытия типа «Кисловодск».

### Цели

Изучение воздействия осадки опоры на напряженно-деформированное состояние пространственной решетчатой конструкции типа «Кисловодск».

### Основной материал

В данной работе исследовалось влияние осадки опоры на напряженно-деформированное состояние пространственной решетчатой конструкции СП 30-300. Структурное покрытие с размером в плане 30×30 м и расстоянием между колоннами 18×18 м имеет ортогональную сетку поясов с ячейкой 3×3 м и высоту по осям поясов  $h = 2,12$  м [11, 13]. Стержни поясов изготавливаются из стальных электросварных труб, соединенных между собой узловыми элементами. Узлы верхнего и нижнего пояса соединяются раскосами. Стержни структуры имеют одинаковую длину и в зависимости от нагрузки выполняются определенного диаметра и толщины [15]. Для рассматриваемого варианта покрытия применялись 4 типоразмеров трубы сечением от 60×3 до 114×6 мм.

Раскладка элементов по верхнему, нижнему поясу и раскосной решетке выполнена в соответствии с типовым альбомом [4].

Схемы раскладки элементов приведены на рисунках 1–4.

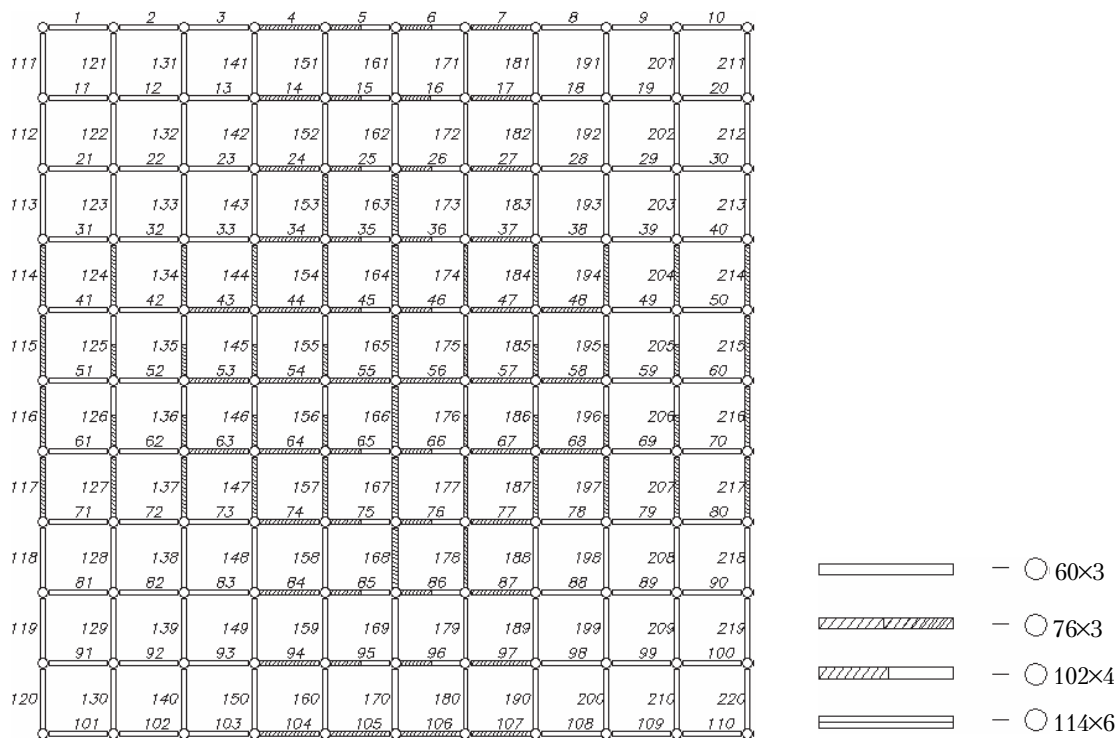


Рисунок 1. Схема раскладки и нумерация элементов верхнего пояса СП 30-300.

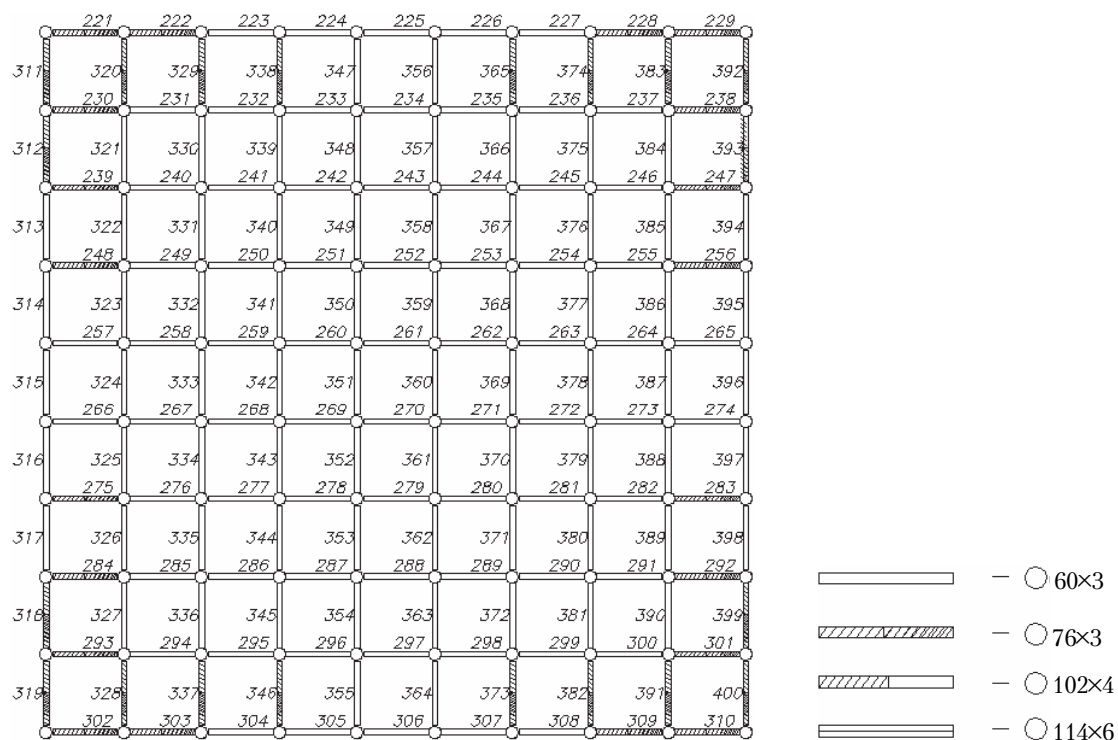


Рисунок 2. Схема раскладки и нумерация элементов нижнего пояса СП 30-300.

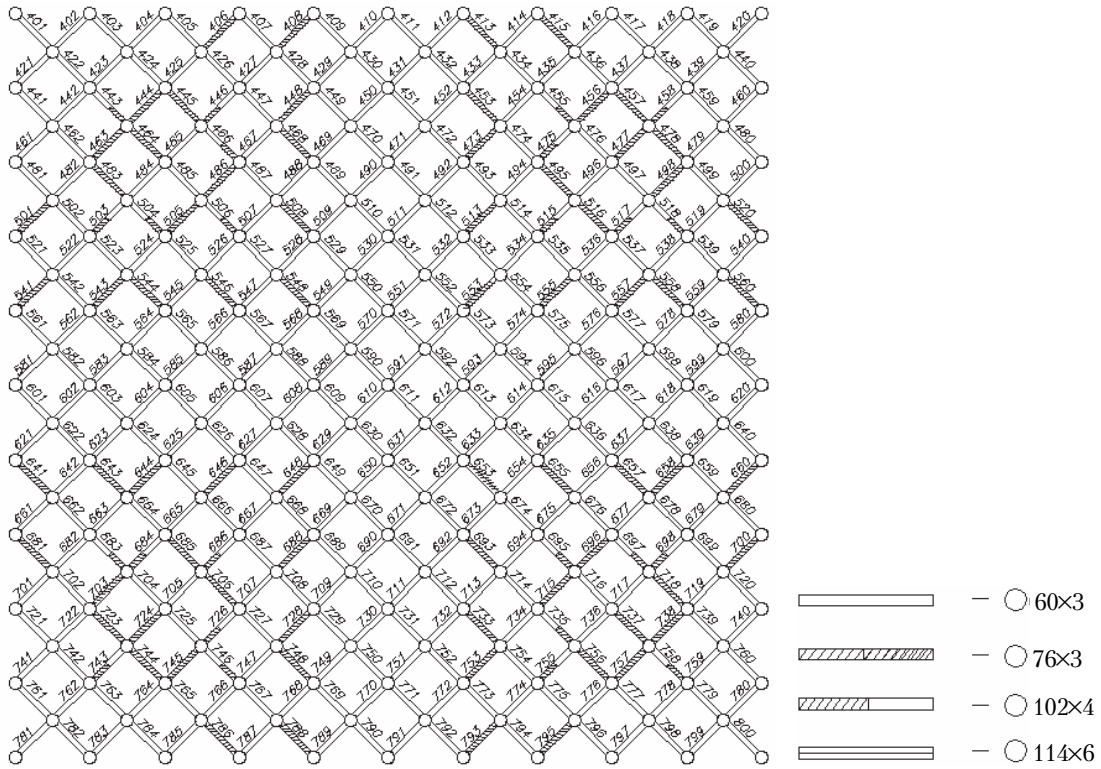


Рисунок 3. Схема раскладки и нумерация стержней раскосной решетки СП 30-300.

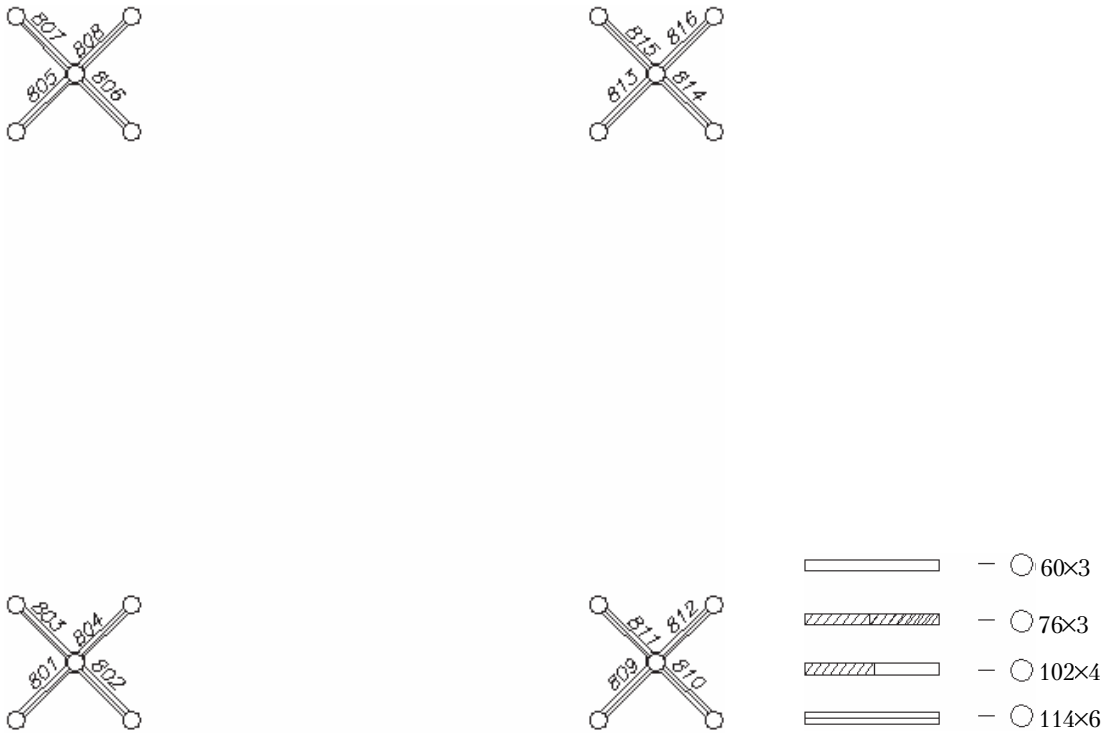


Рисунок 4. Схема раскладки и нумерация стержней капителей СП 30-300.

Определена несущая способность стержней при растяжении и сжатии (таблица 1) [5, 14].

**Таблица 1.** Несущая способность элементов структурного покрытия СП 30-300

Несущая способность элемента, кН	Типоразмеры сечений			
	О 60×3	О 76×3	О 102×4	О 114×6
Растяжение	124	158	283	431
Сжатие	-37	-73	-184	-305

Расчет структурного покрытия произведен при помощи универсального программного расчетно-вычислительного комплекса ПК ЛИРА-САПР 2013 [5]. Длина каждого элемента структурного покрытия одинакова и равна 3 м. Раскладка и начало нумерации элементов структуры приведены ранее на рисунках (1–4). Узловые соединения заданы как шарниры, с тремя степенями свободы. Опорные узлы также шарнирные, закреплены от перемещений по направлению местных осей координат. Нижняя часть колонн жестко заземлена.

Проектная нагрузка равная  $300 \text{ кг/м}^2$  приводилась к вертикальной узловой нагрузке, приложенной в узлы верхнего пояса структурного покрытия.

Узловая нагрузка собиралась в соответствии грузовой площади для каждого узла и рассчитывается по формуле 1 [5]:

$$F_{уз} = q \times A_{зп}, \quad (1)$$

где  $q$  – равномерно распределенная нагрузка на покрытие;

$A_{зп}$  – грузовая площадь для данного узла.

Для узлов расположенных:

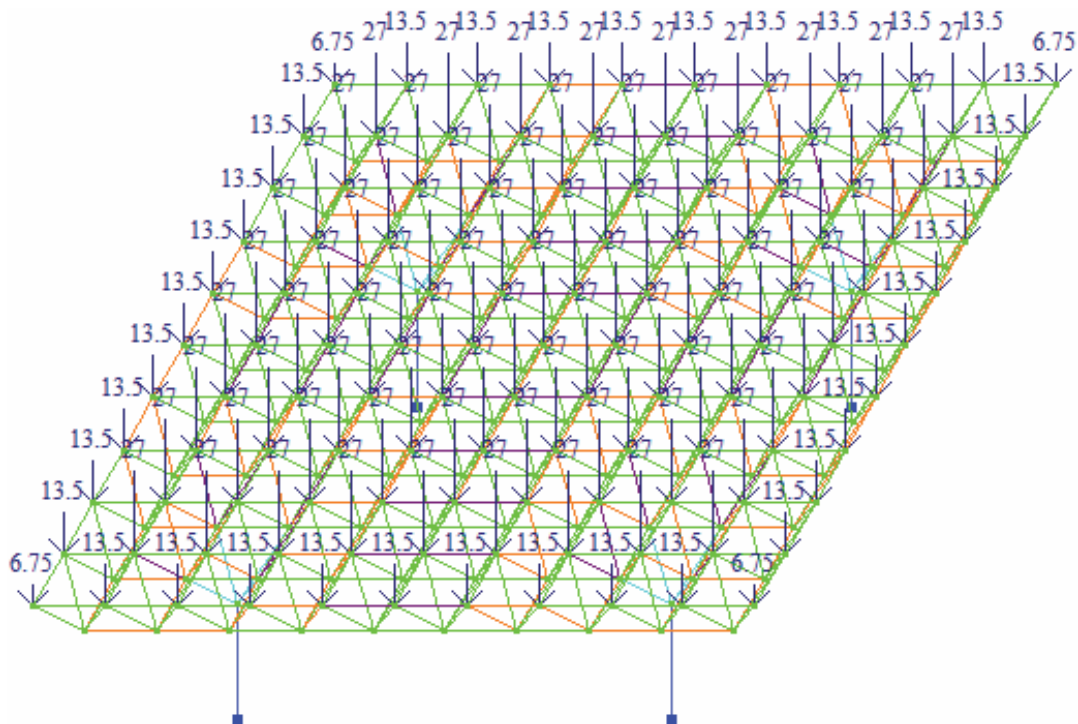
- по углам  $A_{зп} = 2,25 \text{ м}^2$ ;
- по контуру  $A_{зп} = 2,25 \text{ м}^2$ ;
- по центру  $A_{зп} = 2,25 \text{ м}^2$ .

Вертикальная нагрузка, соответственно, для узлов:

- по углам  $F_{уз} = 6,75 \text{ кН}$ ;
- по контуру  $F_{уз} = 13,5 \text{ кН}$ ;
- по центру  $F_{уз} = 27 \text{ кН}$ .

Расчетная схема показана на рисунке 5.

Согласно, требованиям нормативного документа [6], предельные осадки конструкции составляют:



**Рисунок 5.** Расчетная схема структурного покрытия СП 30-300.









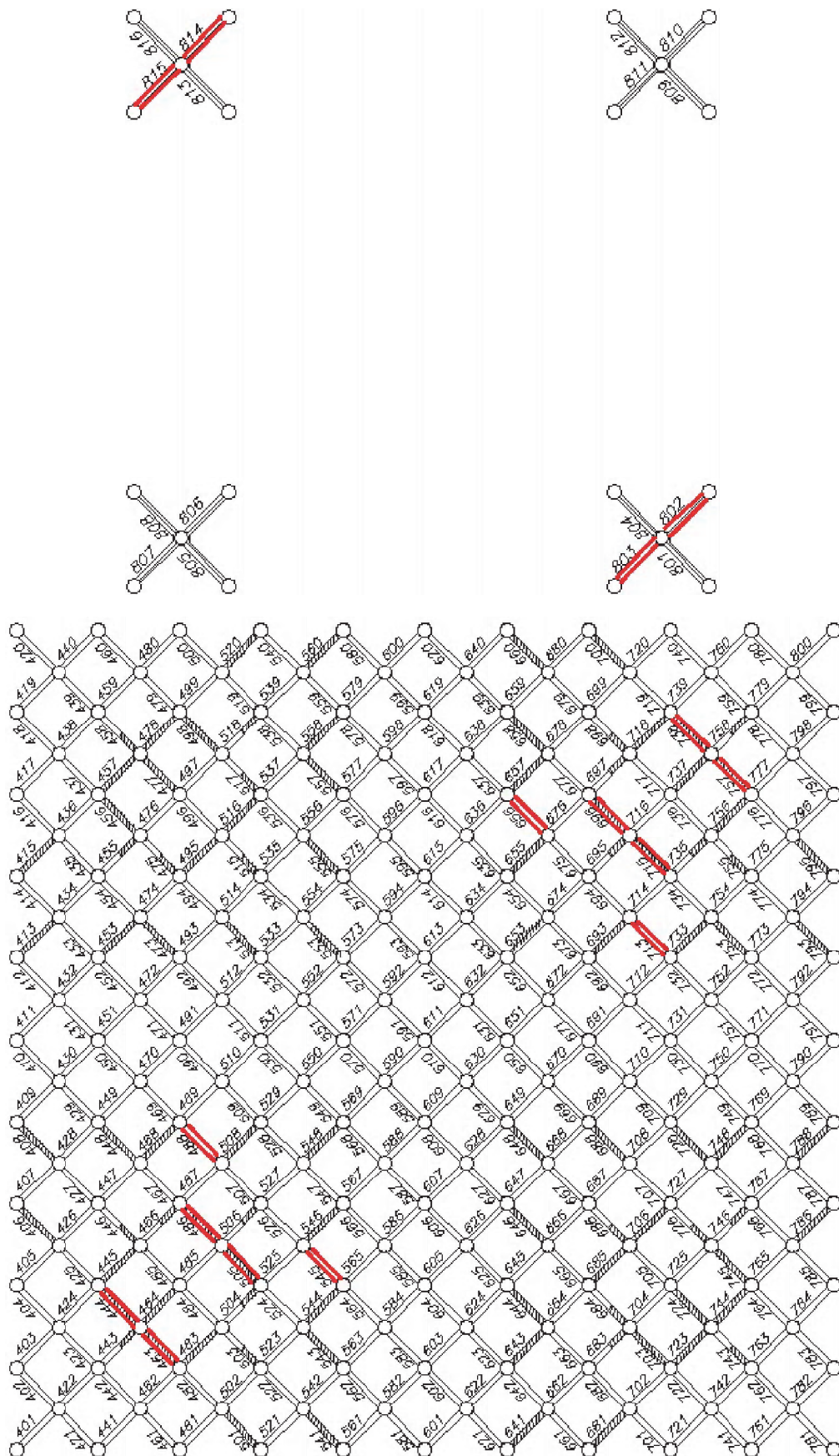


Рисунок 6. Расположение перегруженных раскосов и капителей при осадке колонны  $S = 20$  см.

Таблица 7. Влияние осадок на усилия в стержнях

№ элемента	Сечение, мм	Несущая способность, кН «+» – растяжение «-» – сжатие	Осадка колонны $\Delta S$ , см	Усилие в элементе при осадке, кН	Запас прочности, %	Перегруз, %
488 713	60×3	+124 -37	0	-27,886	24,63	-
			5	-30,631	17,21	-
			10	-33,375	9,79	-
			15	-36,120	2,38	-
			20	-38,864	-	5,00
545 656	60×3	+124 -37	0	-28,148	23,92	-
			5	-30,874	16,56	-
			10	-33,603	9,18	-
			15	-36,328	1,82	-
			20	-39,054	-	5,55
444 757	73×3	+158 -73	0	-46,786	35,91	-
			5	-54,458	25,4	-
			10	-62,130	14,89	-
			15	-69,801	4,38	-
			20	-77,473	-	6,13
463 738	73×3	+158 -73	0	-46,600	36,16	-
			5	-54,270	25,66	-
			10	-61,950	16,10	-
			15	-69,620	4,63	-
			20	-77,300	-	5,9
486 715	73×3	+158 -73	0	-45,147	38,15	-
			5	-52,340	28,30	-
			10	-59,531	18,45	-
			15	-66,724	8,60	-
			20	-73,916	-	1,25
505 696	73×3	+158 -73	0	-45,500	37,67	-
			5	-52,690	27,82	-
			10	-59,880	17,97	-
			15	-67,071	8,12	-
			20	-74,263	-	1,73
802 803 814 815	114×6	+431 -305	0	-248,591	18,50	-
			5	-266,844	12,51	-
			10	-285,100	6,52	-
			15	-303,351	0,54	-
			20	-321,605	-	5,5

- При осадке опоры наблюдается увеличение продольных усилий на 5...15 % в стержнях раскосов и элементах капителей в приопорной зоне примыкания структурного покрытия к опоре, испытывающей вертикальные перемещения, вследствие возможной осадки основания.
- В случае смещения опоры на осадку выше предельной 15 см, а именно  $S = 20$  см, перегру-

женными оказываются 16 стержней под номерами: 444, 463, 486, 488, 505, 545, 656, 696, 713, 715, 738, 757 (раскосы) и 802, 803, 814, 815 (элементы капителей).

- Зависимость между усилиями и осадкой опоры в стержнях раскосов и элементов капителей в приопорной зоне имеет линейный характер.

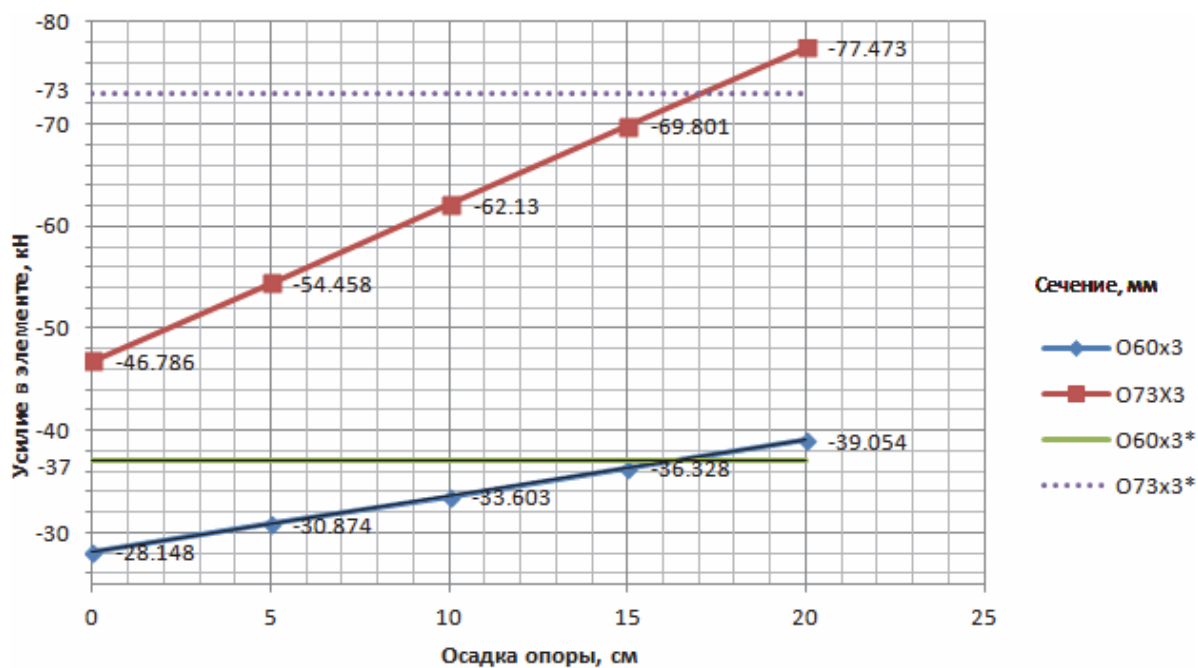


Рисунок 7. Зависимости усилий в раскосах от величины осадки колонны.

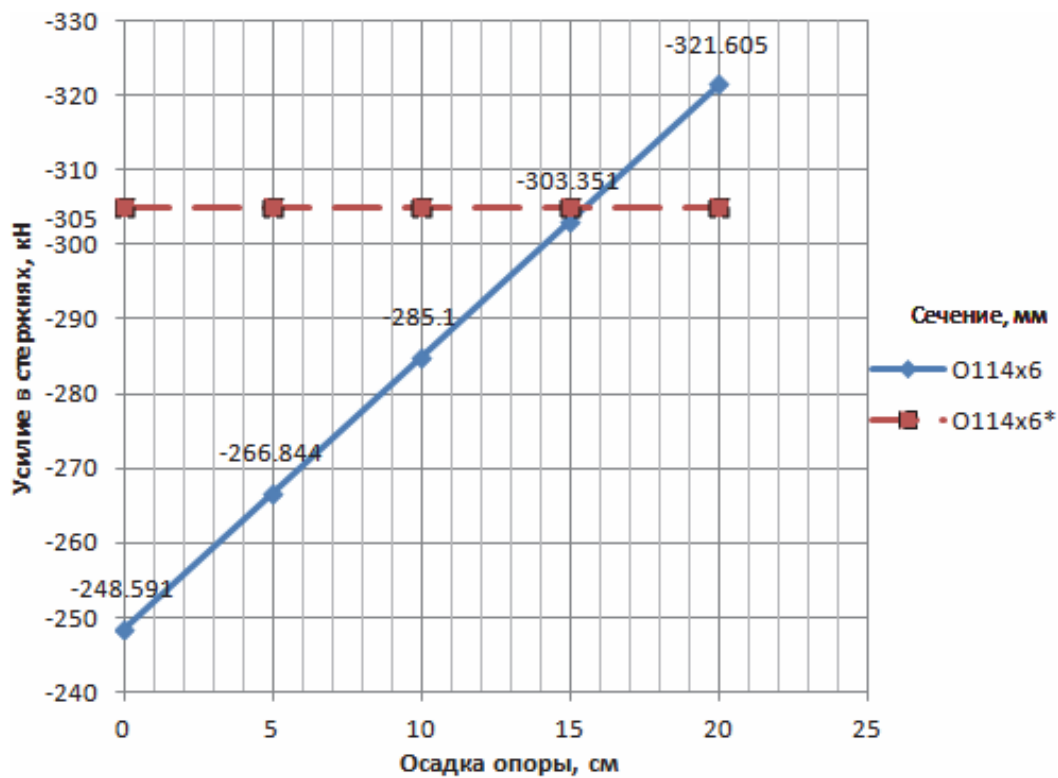


Рисунок 8. Зависимость усилий в элементах капителей от величины осадки колонны.

## Литература

1. Металлические конструкции [Текст] / Е. И. Беленя, В. А. Балдин, Г. С. Ведеников [и др.] ; под ред. Е. И. Беленя. – М. : Стройиздат, 1986. – 560 с.
2. Металлические конструкции [Текст] : учебник для вузов / Ю. И. Кудишин, Е. И. Беленя, В. С. Игнатьева [и др.] ; под ред. Ю. И. Кудишина. – М. : Академия, 2011. – 688 с.
3. Трофимов, В. И. Структурные конструкции (исследование, расчет и проектирование) [Текст] / В. И. Трофимов, Т. Е. Бегун. – М. : Стройиздат, 1972. – 272 с.
4. Серия 1.466-2. Пространственные решетчатые конструкции из труб типа «Кисловодск» [Текст] / Гипромонтажиндустрия Минмонтажспецстроя СССР. – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1973. – 18 с.
5. ДБН В.2.6-198:2014. Стальные конструкции. Нормы проектирования [Текст]. – Взамен ДБН В.2.6-163:2010 в части раздела 1 и ДСТУ Б В.2.6-194:2013 ; введ. 2015-01-01. – К. : Минрегион Украины, 2014. – 198 с.
6. ДБН В.2.1-10-2009. Основания и фундаменты. Нормы проектирования [Текст]. – Взамен СНиП 2.02.01-83 ; введ. 2009-07-01. – К. : Минрегион Украины, 2009. – 90 с.
7. Рекомендации по проектированию структурных конструкций [Текст] / ЦНИИСК им. Кучеренко. – М. : Стройиздат, 1984. – 297 с.
8. Толмачев, И. Н. Структурные конструкции покрытий одноэтажных промышленных зданий [Текст] : методические указания к курсовому и дипломному проектированию по дисциплине «Металлические конструкции» / И. Н. Толмачев. – М. : Институт инженеров железнодорожного транспорта, 1981. – 32 с.
9. Бегун, Г. Б. О рациональном применении стальных покрытий. [Текст] / Г. Б. Бегун // ЦИНИС. Серия «Межотраслевые вопросы строительства», № 12. – М. : [б. и.], 1967. С. 28–31.
10. Chilton, J. Space Grid Structures [Текст] / J. Chilton. – Oxford : Architectural Press, 2000. – 191 p. – ISBN 0-7506-3275-5.
11. Марутян, А. С. Легкие металлоконструкции из перекрестных систем [Текст] / А. С. Марутян. – Пятигорск : РИА КМВ, 2009. – 348 с.
12. Программный комплекс ЛИРА-САПР 2013 [Текст] : учебное пособие / М. С. Городецкий, Р. Ю. Барабаш, В. П. Водопьянов [и др.] ; под ред. академика РААСН А. С. Городецкого. Электронное издание, Киев-Москва, 2013. – 376 с.
13. Михайлов, В. В. Пространственные стержневые конструкции покрытий (структуры) [Текст] / В. В. Михайлов, М. С. Сергеев. – Владимир : ВлГУ, 2011. – 56 с.
14. Хисамов, Р. И. Расчет и конструирование структурных покрытий [Текст] / Р. И. Хисамов. – Киев : Будивельник, 1981. – 48 с.
15. Васильченко, В. Т. Справочник конструктора металлических конструкций [Текст] / В. Т. Васильченко, А. Н. Рутман, Е. П. Лукьяненко. – 2 е

## References

1. Belenya, Ye. I.; Baldin, V. A.; Vedenikov, G. S. [et. al.]. Metal constructions [Text]. Edited by Ye. I. Belenya. M. : Stroizdat, 1986. 560 p. (in Russian)
2. Kudishin, Yu. I.; Belenya, Ye. I.; Ignatyeva, V. S. [et. al.]. Metal constructions [Text] : textbook for universities. Edited by Yu. I. Kudishin. M. : Academy, 2011. 688 p. (in Russian)
3. Trofimov, V. I.; Begun, T. Ye. Structural structures (research, calculation and design) [Text]. M. : Stroizdat, 1972. 272 p. (in Russian)
4. Series 1.466-2. Spatial lattice structures made of pipes of the «Kislovodsk» type [Text] / Gipromontazhindustria of Minmontazhspestrój of the USSR M. : CISD USSR, 1973. 18 p. (in Russian)
5. DBN V.2.6-198:2014. Steel structures. Design Standards [Text]. Kyiv : Ministry of Regional Development of Ukraine, 2014. 198 p. (in Russian)
6. DBN V.2.1-10-2009. Grounds and foundations. Design standards [Text]. Kyiv : Ministry of Regional Development of Ukraine, 2009. 90 p. (in Russian)
7. V. A. Kucherenko CSRIBS Structural Design Guidelines [Text]. M. : Stroizdat, 1984. 297 p. (in Russian)
8. Tolmachev, I. N. Structural structures of coatings of one-story industrial buildings [Text] : methodological instructions for course and diploma design in the discipline «Metal structures». M. : Institute of Railway Engineers, 1981. 32 p. (in Russian)
9. Begun, G. B. On the rational use of steel coatings [Text]. In: CISIBA. Series «Cross-sectoral construction issues», № 12. M. : [s. n.], 1967. P. 28–31. (in Russian)
10. Chilton, J. Space Grid Structures [Text]. Oxford : Architectural Press, 2000. 191 p. (in English)
11. Marutyan, A. S. Lightweight metal structures from cross systems [Text]. Pyatigorsk : AIA CMW, 2009. 348 p. (in Russian)
12. Gorodetsky, M. S.; Barabash, R. Yu.; Vodopyanov, V. P. [et. al.]. LIRA-SAPR software package 2013 [Text]: textbook. Edited by academician of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences A. S. Gorodetsky. Electronic edition, Kiev–Moscow, 2013. 376 p. (in Russian)
13. Mikhaylov, V. V.; Sergeyev, M. S. Spatial bar structures of coatings (structures) [Text]. Vladimir : VSU, 2011. 56 p. (in Russian)
14. Khisamov, R. I. Calculation and design of structural coatings [Text]. Kyiv : Budivelynyk, 1981. 48 p. (in Russian)
15. Vacilchenko, V. T.; Rutman, A. N.; Lukyanenko, Ye. P. Metal construction designer's guide [Text]. 2nd ed., revised and supplemented. Kyiv : Budivelynyk, 1990. 312 p. (in Russian)
16. Gaylord, Edwin; Gaylord, Charles; Stall-meyer, James. Structural engineering [Text]. New York : The McGraw Hill Companies, 1997. 1024 p. ISBN 70237247. (in English)

- изд., перераб. и доп. – К. : Будивэльнык, 1990. – 312 с.
16. Gaylord, Edwin. Structural engineering [Текст] / Edwin Gaylord, Charles Gaylord, James Stallmeyer. – New York : The McGraw Hill Companies, 1997. – 1024 p. – ISBN 70237247.
  17. Schumacher, M. Move – Architecture in Motion [Текст] / M. Schumacher, O. Schaeffer, M. M. Vogt. – Basel : Birkhauser Verlag AG, 2010. – 248 p. – ISBN 3764399864.
  18. Renton, John D. Chapter 15 Regular Structures [Текст] / John D. Renton // Elastic Beams and Frames – Second Edition. – Chichester : Horwood Publishing, 2002. P. 15.1–15.36.
  19. Трущев, А. Г. Пространственные металлические конструкции [Текст]: учебное пособие / А. Г. Трущев. – М. : Стройиздат, 1983. – 216 с.
  20. Kagome plate structures for actuation [Текст] / R. G. Hutchinson, N. Wicks, A. G. Evans [et. al.] // International Journal of Solids and Structures. 2003. № 40. P. 6969–6980.
  21. Schumacher, M.; Schaeffer, O.; Vogt, M. M. Move – Architecture in Motion [Text]. Basel : Birkhauser Verlag AG, 2010. 248 p. ISBN 3764399864. (in English)
  22. Renton, John D. Chapter 15 Regular Structures [Text]. In: *Elastic Beams and Frames – Second Edition*. Chichester : Horwood Publishing, 2002. P. 15.1–15.36. (in English)
  23. Trushchev, A. G. Spatial metal structures [Text]: schoolbook. M. : Stroizdat, 1983. 216 p. (in Russian)
  24. Hutchinson, R. G.; Wicks, N.; Evans, A. G. [et. al.]. Kagome plate structures for actuation [Text]. In: *International Journal of Solids and Structures*. 2003. № 40. P. 6969-6980. (in English)

**Роменский Игорь Викторович** – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций и сооружений ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: расчет и проектирование пространственных металлических конструкций.

**Гладких Алексей Юрьевич** – студент ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: расчет и проектирование структурных покрытий.

**Тарасенко Нонна Анатольевна** – студентка ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: изучение и проектирование эффективных балочных конструкций.

**Роменський Ігор Вікторович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри металевих конструкцій та споруд ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розрахунок і проектування просторових металевих конструкцій.

**Гладких Олексій Юрійович** – студент ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: розрахунок і проектування структурних покриттів.

**Тарасенко Нонна Анатоліївна** – студентка ДОУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: вивчення і проектування ефективних балкових конструкцій.

**Romenskii Igor** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor of Metal Structures and Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: analyze and design of spatial metal structures.

**Gladkikh Aleksey** – student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: calculation and design of structural coatings.

**Tarassenko Nonna** – student, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: study and design of effective beam structures.