



ISSN 1993-3517 online

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНСТРУКЦИИ  
METAL CONSTRUCTIONS

2024, ТОМ 30, НОМЕР 1, 37–46

EDN: OBCDEW

УДК 624.155.152

(24)-0404-1

## ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА ВОЗВЕДЕНИЯ БАШЕННОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО КОПРА МЕТОДОМ НАДВИЖКИ

А. А. Точеная<sup>a,1</sup>, А. М. Югов<sup>a,2</sup>, С. О. Титков<sup>a,3</sup>, А. В. Танасогло<sup>b,4</sup>

<sup>a</sup> ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,

Российская Федерация, Донецкая Народная Республика,  
286128, г. о. Макеевка, г. Макеевка, ул. Державина, д. 2.

<sup>b</sup> ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский

Московский государственный строительный университет»,

Российская Федерация, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

E-mail: <sup>1</sup>tochenaya.a.a-zpgs-55@donnasa.ru, <sup>2</sup>amyurus@mail.ru, <sup>3</sup>titkov7777@yandex.ru, <sup>4</sup>a.v.tan@mail.ru

Получена 4 марта 2024; принята 22 марта 2024.

**Аннотация.** В статье рассматривается расчет башенного металлического копра методом надвигки с целью исследования изменения напряженно деформированного состояния в момент надвига. Кратко освещены основные исторические этапы применения данного метода для монтажа и перемещения крупногабаритных зданий и сооружений. Проведен анализ мероприятий для выполнения надвига башенного металлического копра скипо клетевой конфигурации с двумя укосинами, высота сооружения составляет 85 м. Выполнен анализ нагрузок и воздействий, прикладываемых для данного сооружения, с учетом работы сооружения. Также рассмотрены нагрузки и воздействия с учетом надвига. Разработана математическая модель данного сооружения позволяющая оценить влияние монтажа сооружения методом надвигки, а также полученные результаты позволяют выполнить подбор оборудования для выполнения надвига. На основании проведенного исследования даны выводы и рекомендации.

**Ключевые слова:** напряженно-деформированное состояние (НДС), башенный металлический копер (БМК), надвигка, ветровое воздействие, напряжения, укрупненный модуль, накаточный путь, стпель.

## FEATURES OF CALCULATION OF ERECTION OF TOWER METAL HEADFRAME BY SLIDING METHOD

Anastasia Tochenaya<sup>a,1</sup>, Anatoly Yugov<sup>a,2</sup>, Sergey Titkov<sup>a,3</sup>, Anton Tanasoglo<sup>b,4</sup>

<sup>a</sup> FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture»,

Russian Federation, 286128, Makeevka, Derzhavin st., 2,

<sup>b</sup> FSBEI HE «Moscow State University of Civil Engineering»

Russian Federation, 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26

E-mail: <sup>1</sup>tochenaya.a.a-zpgs-55@donnasa.ru, <sup>2</sup>amyurus@mail.ru, <sup>3</sup>titkov7777@yandex.ru, <sup>4</sup>a.v.tan@mail.ru

Received 4 March 2024; accepted 22 March 2024.

**Abstract.** The article considers the calculation of a tower metal headframe using the sliding method in order to study the change in the stress-strain state at the time of the thrust. The main historical stages of the application of this method for the installation and movement of large-sized buildings and structures are briefly covered. The analysis of measures for the implementation of the thrust of a tower metal headframe of a skip-cage configuration with two braces is carried out, the height of the structure is 85 m. The analysis of



loads and effects applied to this structure is carried out, taking into account the operation of the structure. Also, loads and effects are considered taking into account the thrust. A mathematical model of this structure has been developed to assess the impact of the installation of the structure using the sliding method, and the results obtained allow the selection of equipment for the thrust. Based on the study, conclusions and recommendations are given.

**Keywords:** stress-strain state (SSS), tower metal pile driver (TMP), sliding, wind effect, stresses, enlarged module, rolling track, slipway.

### Формулировка проблемы

Укосные шахтные копры являются одним из наиболее ответственных видов горнотехнических сооружений шахтной поверхности [1]. От качества проводимых строительно-монтажных работ и сроков введения данных объектов в эксплуатацию напрямую зависит работа всего предприятия. Одним из вариантов сокращения сроков строительства данного объекта является способ надвигки возведенного башенного копра с установленным оборудованием готовым к подключению.

В настоящее время метод надвигки в значительной степени распространен в мостостроении при монтаже пролетных строений. Метод монтажа надвигка применяется для особо тяжелых конструкций или больших по площади конструктивных блоков зданий или сооружений. В строительстве промышленных предприятий данный метод применяется исходя из экономических показателей. При строительстве копров предшествующим этапом идет проходка ствола шахты устройством крепи, которая занимает значительное время, как и строительство самого ствола шахты (надземное сооружение). Для уменьшения сроков строительства применяется метод надвигки – он позволяет параллельно производить проходку подземной части ствола и строительство копра. Параллельность строительства обеспечивается за счет того, что ствол башенного копра строится рядом с местом, где проходит проходка на специально разработанном стенде. В последующем по окончании проходки и строительства копра, надземная часть перемещается по специально разработанному пути в проектное положение и в последующем соединяется со стволом проходки.

Метод надвигки (передвижения зданий и сооружений) не является новым. Первые упоминания о передвижении сооружений датируются тысячей лет до нашей эры. Таким образом

ученые предполагают, что был передвинут фундамент сфинкса Ре Египет. Впервые в России в 1770 г. таким образом был передвинут памятник Петру I в Петербурге [3]. Применению данного метода способствовала индустриализация городов и сохранения памятников архитектуры. Данный метод был применен в СССР, Европе, США. Особое внимание данному методу было уделено в горнодобывающей промышленности Донбасса.

### Анализ исследования

Значительный вклад в развитие проектирования копров внесли такие ученые как В. Е. Андреев, [1], Я. В. Бровман [2], В. М. Левин [8], S. Lagomarsino, L. C. Pagnini [13].

Исследованиями высотных сооружений в том числе и исследованиями башенных металлических копров занимались такие ученые как Е. В. Горюхов [9–12], В. Н. Кущенко [5–6]; А. С. Кострицкий [7], В. К. Kejriwal [14], V. V. Kulyabko [15], D. G. Elms [16], J. Murgewski [17].

**Объект исследования** укосный шахтный копр со скипо-клетьевым подъемом.

### Цель

Анализ влияния монтажных нагрузок на напряженно деформированное состояние башенного металлического копра методом надвигки.

### Основной материал

В данной статье рассматривается надвигка башенного металлического копра высотой 85 м со скипо-клетьевым подъемом полезных ископаемых (рисунок 1). Копер имеет две укосины расположенные вдоль цифирных и буквенных осей сооружения. На отметке +22.000 м расположен бункер приема сырья объемом 600 м<sup>3</sup>. Эвакуационные выходы выполнены из монолитного железобетона. В осях Ж-Л располагаются тяжелые конвейеры для отгрузки добытого сырья.

На первом этапе проводится анализ конструктивной схемы сооружения с устанавливаемым оборудованием. Это требуется для оценки массы сооружения и нахождения центра тяжести. Для точной оценки массы сооружения была создана BIM модель в программном комплексе Tekla Structures (рисунок 2). Данная модель позволяет более точно определить вес сооружения. Модель создается по данным проектной организации, которая проводит проектирование копра в стадии эксплуатации.

При разработке ПОС и ППР для проведения надвигки перед инженером стоит задача оценки несущей способности сооружения в процессе надвигки. Разработка специального стенда сбор-

ки копра с учетом геологических изысканий объекта. Разработка начаточного пути для перемещения сооружения в проектное положение. Подбор материалов скольжения:

- металл по металлу, смазанный графитовой смазкой;
- металл по металлическим кругам смазанный графитовой смазкой;
- применение специального волокна для надвигки пролетных строений мостов.

Принятие решения по применению домкратов либо применение блоков и полиспастов тяговых механизмов. Разработка узлов крепления монтажных приспособлений и узлов крепления сооружения в проектное положение.

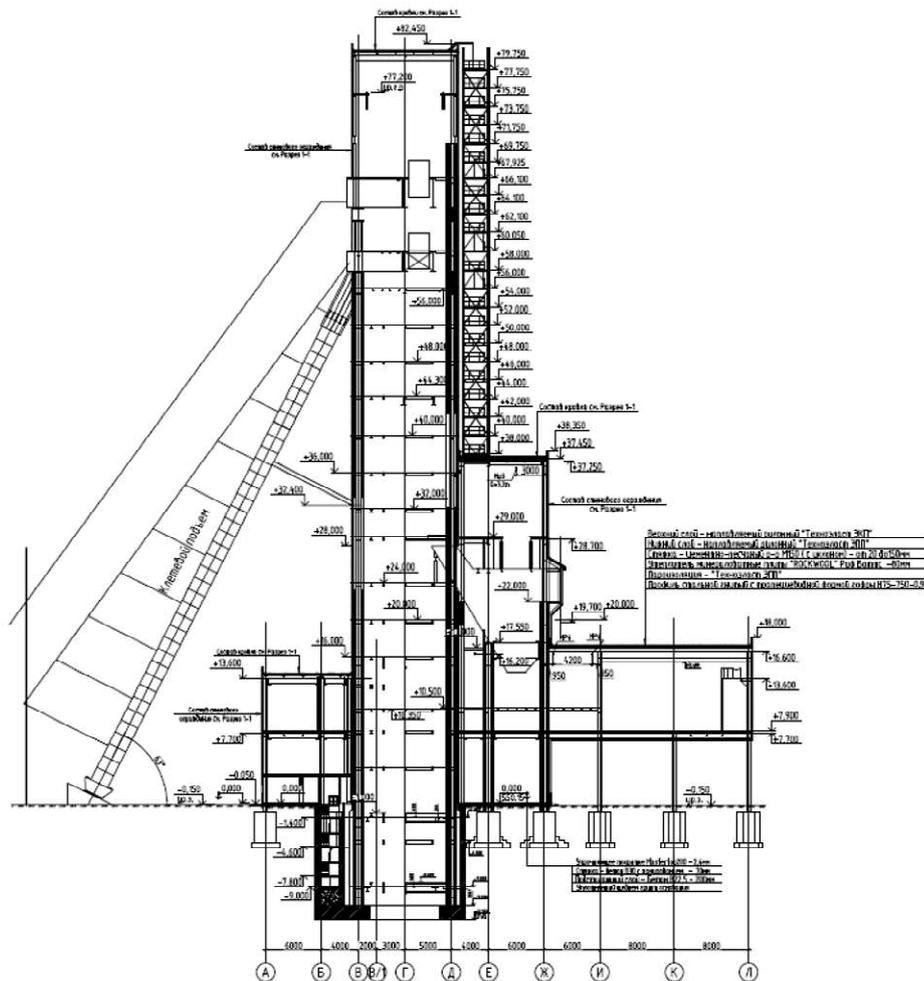


Рисунок 1. Башенный металлический копер скипо-клетьевого подъема разрез.

Для решения вышеперечисленных задач разработана расчетная схема в программном комплексе Лира САПР 2024 (рисунок 3, 4). Расчетная схема определена как система с признаком 5 (пространственная система). Это значит,

что рассматривается система общего вида, деформации которой и её главные неизвестные представлены линейными перемещениями узловых точек вдоль осей X, Y, Z и поворотами вокруг этих осей.

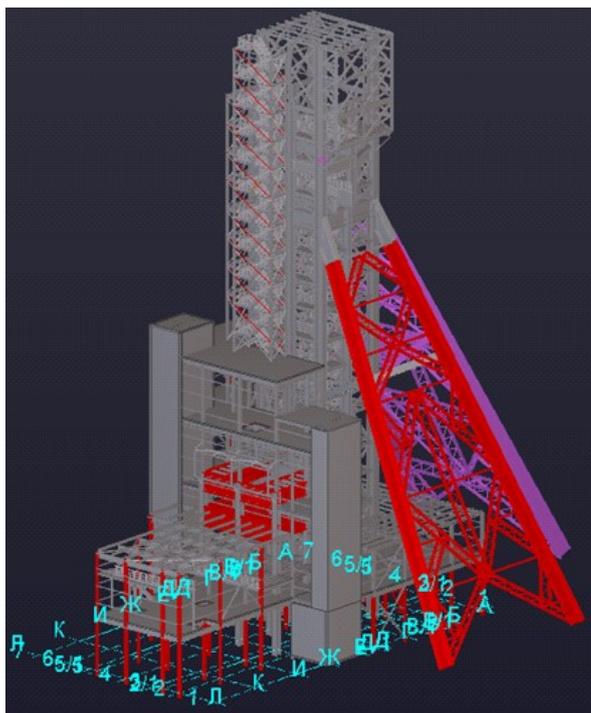


Рисунок 2. BIM модель башенного металлического копра.

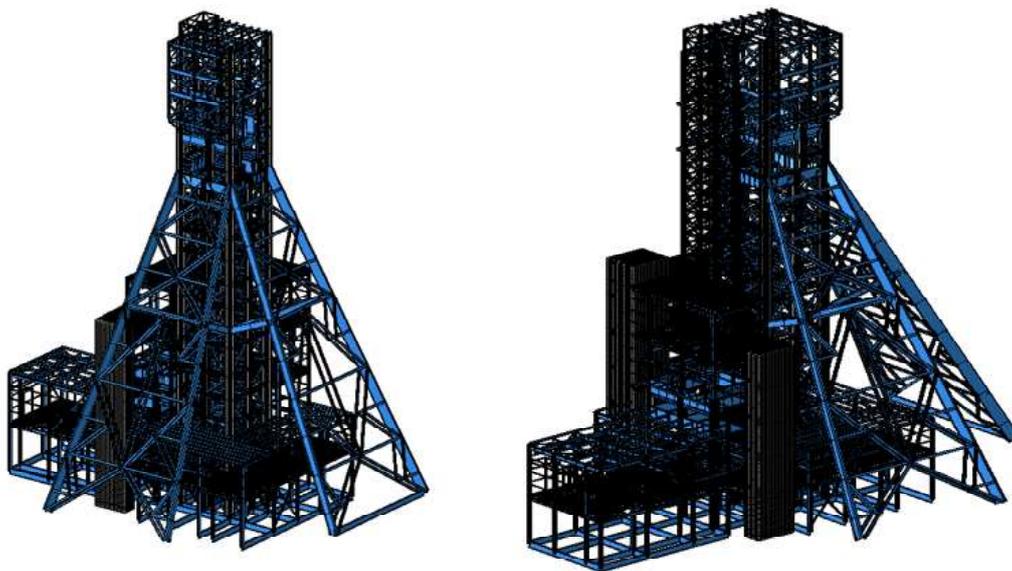
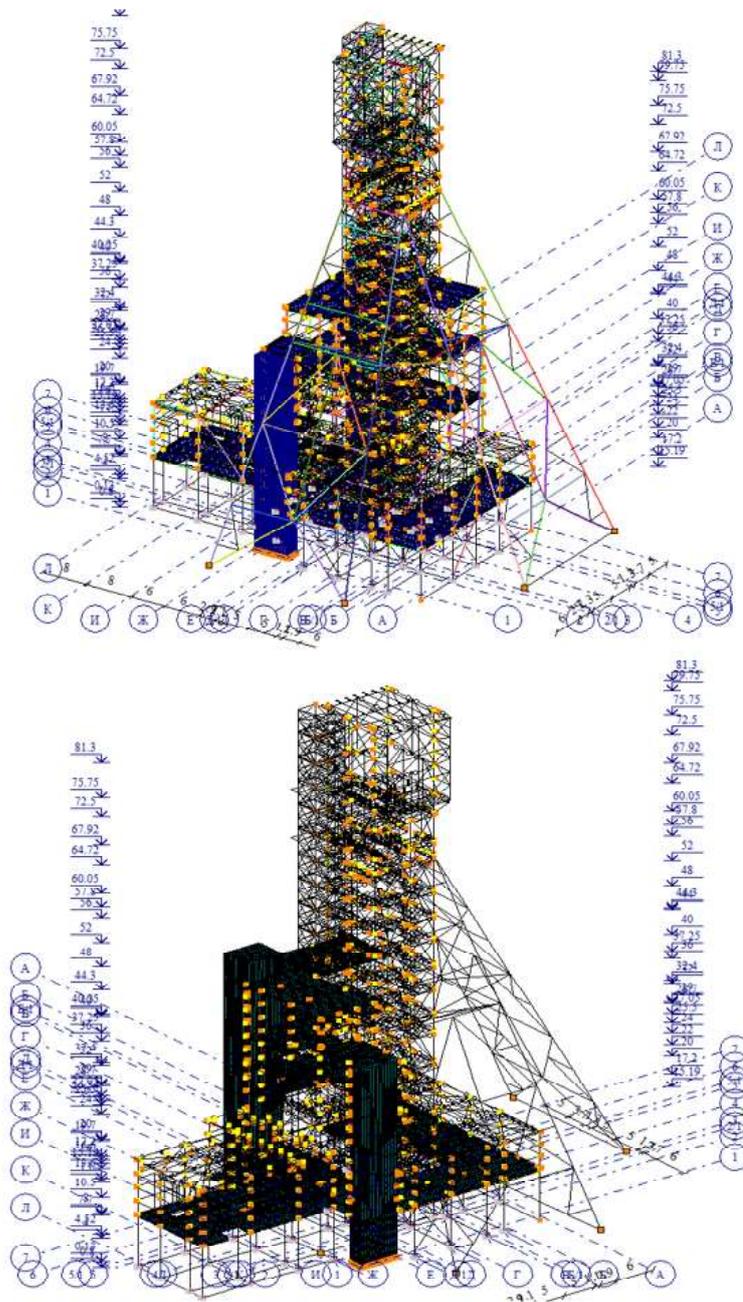


Рисунок 3. 3D-модель.



**Рисунок 4.** Расчетная схема копра, выполненная в программном комплексе Лира САПР 2024.

В расчетном комплексе к сооружению при-  
 кладывались нагрузки от веса копра с учетом ус-  
 тановки ограждающих конструкций от отметки  
 +6.000 м и расположения оборудования копра.  
 Снеговая нагрузка с учетом разно высотности  
 блоков сооружения. Ветровое воздействие с уч-  
 том пульсационной составляющей по направле-  
 нию оси X и Y.

Проанализировав BIM модель, суммарная  
 масса копра составляет 8 028 тонн, предвари-  
 тельно с учетом коэффициента трения скольжения  
 0,4 (металл по металлу) принимаем 5 домкратов  
 по 1 000 т и устанавливаем их на самые нагру-  
 женные оси накаточного пути. На рисунках 5–7  
 представлены: мозаика проверки принятых с-  
 сечений по первому предельному состоянию

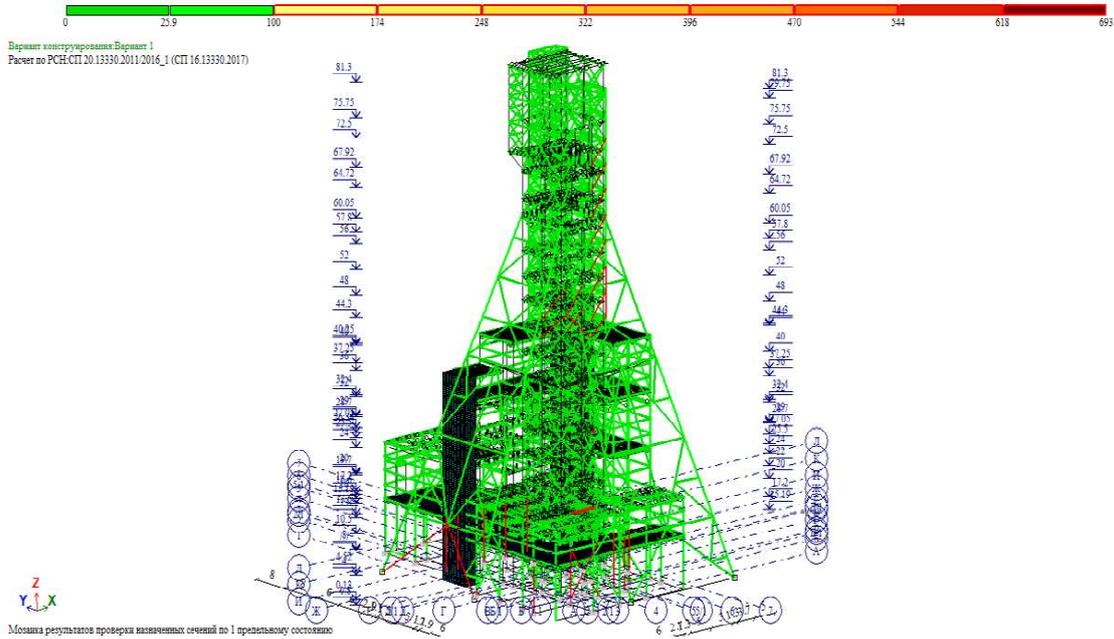


Рисунок 5. Мозаика проверки сечений по 1 предельному состоянию (прочность).

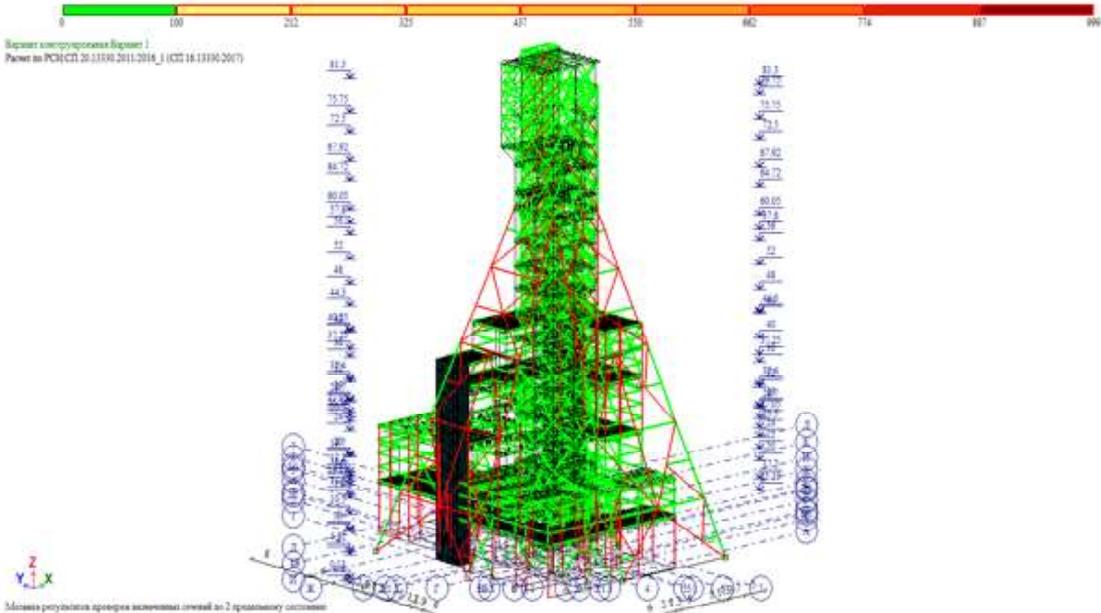


Рисунок 6. Мозаика проверки сечений по 2 предельному состоянию (прогибы и перемещения).

(прочность), по второму предельному состоянию (прогибы и перемещения), местная устойчивость.

Полученные результаты позволяют корректно провести усиление дополнительной развязкой связей первого этажа. При приложении нагрузки

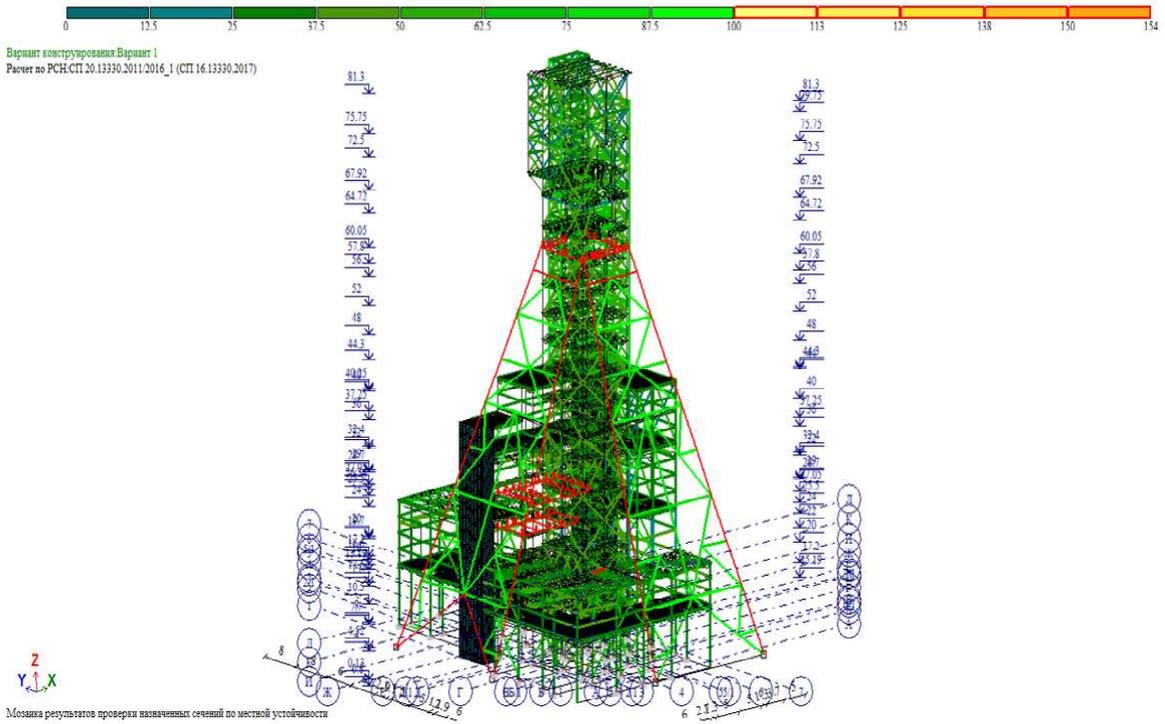


Рисунок 7. Мозаика проверки сечений по местной устойчивости.

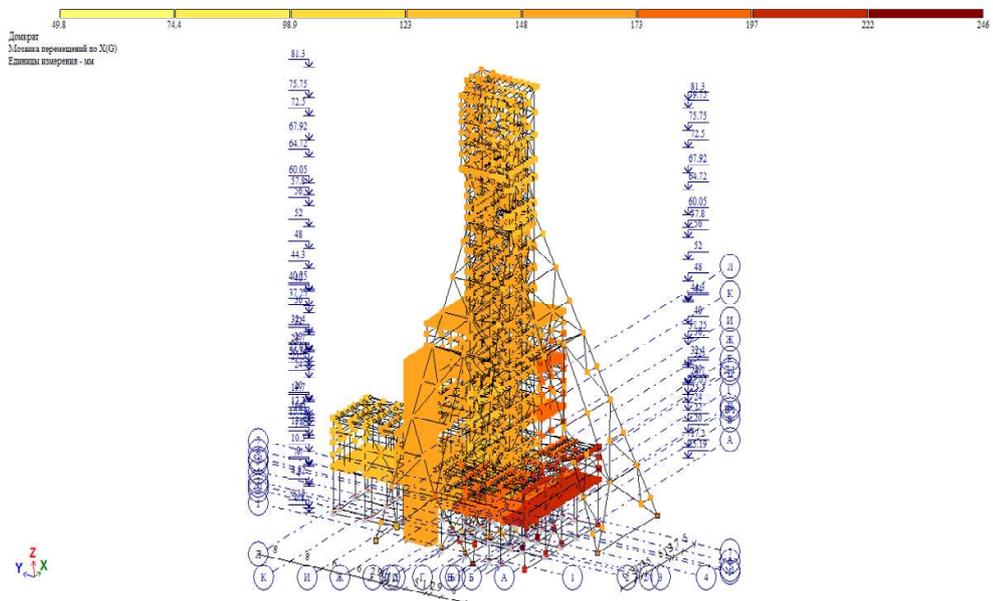


Рисунок 8. Мозаика перемещения по оси X вдоль буквенных осей от приложения нагрузки домкратов, предварительно установленных на наиболее нагруженные оси В, Г, Д, Е, Ж по 1 000 т на ось.

от домкратов по наиболее нагруженным осям накаточного пути происходит поворот (рисунок 8) копра с последующим изломом одной из укосин. При проведении надвигки данного соору-

жения необходимо отказаться от укосины, расположенной поперек движения копра. Это позволит уменьшить количество осей накаточного пути.

### Выводы

1. Коэффициент удерживания превышает 1 и составляет 13,06 вдоль проведения надвижки. Что в свою очередь соответствует требованиям расчета на опрокидывание.
2. Суммарная масса копра составляет в летний период 8 028 тонн, в зимний период  $8\ 028 + 506 = 8\ 534$  тонн.
3. Расчет подтвердил, что требуется выполнить усиление элементов, не прошедших по первому предельному состоянию (колонны первого этажа, первая секция ноги, связи первого этажа),

также требуется провести дополнительное развязку колонн первого этажа.

4. Проанализировав результаты расчета, рекомендуется проводить надвиг копра с одной укосиной, расположенной вдоль буквенных осей.
5. Рекомендуется применение пяти гидравлических домкратов по 1 000 т один с последующей корректировкой давления домкратов на каждую из осей во избежание поворота копра (последующего заклинивания стенда надвига).

### Литература

1. Андреев, В. Е. Проектирование, строительство и эксплуатация башенных копров / В. Е. Андреев. – Москва : «Недра», 1970. – 240 с. – Текст : непосредственный.
2. Бровман, Я. В. Надшахтные копры (Проектирование, расчет и конструкция) : учебное пособие для студентов горных вузов и факультетов / Я. В. Бровман. – Москва : Госгортехиздат, 1961. – 239 с. – Текст : непосредственный.
3. Гендель, Э. М. Передвижка зданий и сооружений / Э. М. Гендель. – Текст : непосредственный // Журнал знание. – 1978. – Выпуск 5. – С. 1–48.
4. Кущенко, В. Н. Резервы несущей способности и обеспечение долговечности стальных конструкций шахтных копров : специальность 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кущенко Владимир Николаевич ; Одесский инженерно-строительный институт. – Одесса, 1985. – 169 с. – Текст : непосредственный.
5. Кущенко, В. Н. Обеспечение безопасности строительных конструкций укосных шахтных копров : монография / В. Н. Кущенко. – Макеевка : ДонНАСА, 2006. – 203 с. – Текст : непосредственный.
6. Кущенко, В. М. Обеспечение безопасности строительных конструкций укосных шахтных копров специальность 05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Кущенко Владимир Николаевич ; Донбасская национальная академия строительства и архитектуры. – Макеевка, 2007. – 407 с. – Текст : непосредственный.
7. Костицкий, А. С. Облік динамічного характеру особливих навантажень на конструкції укосних шахтних копрів : спеціальність 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» : дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних

### References

1. Andreev, V. E. Design, construction and operation of tower headframes. – Moscow : «Nedra», 1970. – 240 p. – Text : direct. (in Russian)
2. Brovman, Ya. V. Mine headframes (Design, calculation and construction): a textbook for students of mining universities and faculties. – Moscow : Gosgortekhzdat, 1961. – 239 p. – Text : direct. (in Russian)
3. Gendel, E. M. Moving buildings and structures. – Text : direct. – In: *Znanie Magazine*. – 1978. – Issue 5. – P. 1–48. (in Russian)
4. Kushchenko, V. N. Bearing capacity reserves and ensuring the durability of steel structures of mine headframes : specialty 05.23.01 «Building structures, buildings and structures» : dissertation for the degree of candidate of technical sciences ; Odessa Civil Engineering Institute. – Odessa, 1985. – 169 p. – Text : direct. (in Russian)
5. Kushchenko, V. N. Ensuring the safety of building structures of inclined mine headframes : monograph. – Makeyevka : DonNASA, 2006. – 203 p. – Text : direct. (in Russian)
6. Kushchenko, V. M. Safety of everyday structures of acid mine headers : specialty 05.23.01 «Building structures, buildings and structures» : dissertation for the development of the scientific level of Doctor of Technical Sciences ; Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. – Makeevka, 2007. – 407 p. – Text : direct. (in Russian)
7. Kostritsky, A. S. The appearance of the dynamic nature of special considerations in the design of skewed mine headers : specialty 05.23.01 «Construction structures, buildings and structures» : dissertation on the development of a scientific stage candidate of technical sciences ; Donbas State Academy of Civil Engineering and Architecture. – Makeevka, 2003. – 168 p. – Text : direct. (in Ukrainian)
8. Levin, V. M. Tower structures for industrial purposes. Research, calculation. – Makeyevka : DGASU, 1999. – 230 p. – Text : direct. (in Russian)

- наук / Кострицкий Александр Сергійович ; Донбаська державна академія будівництва та архітектури. – Макіївка, 2003. – 168 с. – Текст : непосредственный.
8. Левин, В. М. Башенные сооружения промышленного назначения. Исследования, расчет / В. М. Левин. – Макеевка : ДГАСА, 1999. – 230 с. – Текст : непосредственный.
  9. Методика обследования несущих стальных конструкций шахтных копров / Е. В. Горохов, В. Н. Кущенко, К. Л. Пиличев [и др.] ; ЦБНТИМинуглепром УССР. – Донецк : [б. и.], 1984. – 24 с. – Текст : непосредственный.
  10. А. с. № 969635 СССР, МПК В 66 В 17/02. Предохранительное устройство к грузоподъемному механизму / Е. В. Горохов, В. Н. Кущенко. – № 2867210/27-11 ; заявл. 14.11.79 ; опубл. 30.10.82, Бюллетень № 40. – 3 с. : ил. – Текст : непосредственный.
  11. А. с. № 881283 СССР, МПК Е 04Н 12/26. Шахтный копер / Е. В. Горохов, В. Н. Кущенко – № 2884382/29-33 ; заявл. 19.02.80 ; опубл. 15.11.81, Бюллетень № 42. – 5 с. : ил. – Текст : непосредственный.
  12. А. с. № 953166 СССР, МПК Е 04Н 12/26. Шахтный копер / Е. В. Горохов, В. Н. Кущенко – № 3231416/29-33 ; заявл. 06.01.81 ; опубл. 23.08.82, Бюл. № 31. – 3 с. : ил. – Текст : непосредственный.
  13. Lagomarsino, S. Criteria for modeling and predicting dynamic parameters of building / S. Lagomarsino, L. C. Pagnini ; Istituto di Ccienza delle Costruzioni, Faculty of Engineering. – Genova : [University of Genova], 1995. – 97 p. – Текст : непосредственный.
  14. Kejriwal, B. K. Safety in mines / B. K. Kejriwal. – First edition. – Dyanbad : [Lovely Prahaskan], 1994. – 395 p. – Текст : непосредственный.
  15. Kulyabko, V. V. Drawing up of the dynamic models of long-shan and high-rise RS buildings and structures in the time of the diagnostics / V. V. Kulyabko – Текст : непосредственный // *Diagnosis of Concrete Structures : Processing 2nd RILEM International Conference, Štrbské pleso, 07.10.1996-11.10.1996, Bratislava (Slovakia).* – Bratislava (Slovakia) : [s. n.], 1996. – P. 382–385.
  16. Elms, D. G. Risk balancing in structural problems / D. G. Elms. – Текст : непосредственный // *Structural Safety.* – Volume 19, No. 1. – P. 67–77.
  17. Murgewski, J. Reliability: State-of-Art / J. Murgewski. – Текст : непосредственный // *Metal Structures : IX International Conference : Final Report, 1996, Krakov (Poland).* – Krakov (Poland) : [s. n.], 1996. – P. 99–112.
  9. Gorokhov, E. V.; Kushchenko, V. N.; Pilichev, K. L. [et al.]. Methodology for examining load-bearing steel structures of mine headframes. – Donetsk : [s. n.], 1984. – 24 p. – Text : direct. (in Russian)
  10. А. с. No. 969635 USSR, MPK B 66 B 17/02. Safety device for a lifting mechanism / E. V. Gorokhov, V. N. Kushchenko. – № 2867210/27-11 ; declared 14.11.79 ; published 30.10.82, Bulletin. № 40. – 3 p. : ill. – Text : direct. (in Russian)
  11. А. с. № 881283 USSR, MPK E 04H 12/26. Mine headframe / E. V. Gorokhov, V. N. Kushchenko. – № 2884382/29-33 ; declared 19.02.80 ; published 15.11.81, Bulletin № 42. – 5 p. : ill. – Text : direct. (in Russian)
  12. А. s. № 953166 USSR, MPK E 04H 12/26. Mine headframe / E. V. Gorokhov, V. N. Kushchenko. – No. 3231416/29-33 ; declared 06.01.81 ; published 23.08.82, Bulletin № 31. – 3 p. : ill. – Text : direct. (in Russian)
  13. Lagomarsino, S.; Pagnini, L. C. Criteria for modeling and predicting dynamic parameters of building. – Genova : [University of Genova], 1995. – 97 p. – Text : direct.
  14. Kejriwal, B. K. Safety in mines. – First edition. – Dyanbad : [Lovely Prahaskan], 1994. – 395 p. – Text : direct.
  15. Kulyabko, V. V. Drawing up of the dynamic models of long-shan and high-rise RS buildings and structures in the time of the diagnostics. – Text : direct. – In: *Diagnosis of Concrete Structures : Processing 2nd RILEM International Conference, Štrbské pleso, 07.10.1996-11.10.1996, Bratislava (Slovakia).* – Bratislava (Slovakia) : [s. n.], 1996. – P. 382–385.
  16. Elms, D. G. Risk balancing in structural problems. – Text : direct. – In: *Structural Safety.* – Volume 19, № 1. – P. 67–77.
  17. Murgewski, J. Reliability: State-of-Art. – Text : direct. – In: *Metal Structures : IX International Conference : Final Report, 1996, Krakov (Poland).* – Krakov (Poland) : [s. n.], 1996. – P. 99–112.

**Точеная Анастасия Артуровна** – магистрант ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: исследование напряженно деформированного состояния башенных металлических копров с учетом стадийности возведения.

**Югов Анатолий Михайлович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и организации строительства ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: проектирование, монтаж, эксплуатация, техническая диагностика, оценка технического состояния, реконструкция, усиление и демонтаж строительных металлических конструкций, технология и организация работ, при строительстве и реконструкции зданий и сооружений.

**Титков Сергей Олегович** – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических конструкций и сооружений ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: проектирование и диагностика уникальных зданий и сооружений.

**Танасогло Антон Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры металлических и деревянных конструкций ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет». Научные интересы: эксплуатационная надежность и оптимальное проектирование конструкций воздушных линий электропередачи и антенных опор. Изучение действительной работы металлических решетчатых конструкций башенного типа.

**Tochenaya Anastasia** – master's student, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: study of the stress-strain state of tower metal headframes taking into account the stages of construction.

**Yugov Anatoly** – D. Sc. (Eng.), Professor, Head of the Technology and Management in Construction Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: design, installation, operation, technical diagnostics, assessment of technical condition, reconstruction, strengthening and dismantling of building metal structures, technology and organization of work in the construction and reconstruction of buildings and structures.

**Titkov Sergey** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor of the Department of Metal Constructions and Structures, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: design and diagnostics of unique buildings and constructions.

**Tanasoglo Anton** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Metal and Timber Structures Department, FSBEI HE «Moscow State University of Civil Engineering». Scientific interests: operational reliability and optimal design of overhead power transmission line and antenna support structures. Studying of the valid work of metal lattice tower supports.