

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ «ПОДЪЕМНЫЕ СОСУДЫ – АРМИРОВКА» МЕТОДОМ ТВЕРДОТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

¹Дубинин М.В., ²Ильин С.Р.

¹Філіал ННІГМ ім. М.М.Федорова, ²Інститут геотехнічної механіки ім. Н.С. Полякова НАН України

ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ «ПІДЙОМНІ ПОСУДИНИ – АРМУВАННЯ» МЕТОДОМ ТВЕРДОТІЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

¹Дубінін М.В., ²Ільїн С.Р.

¹Філія НДІГМ ім. М.М.Федорова, ²Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України

DETERMINATION OF DYNAMIC PARAMETERS FOR THE SYSTEMS "SKIP – SHAFT EQUIPMENT" BY THE METHOD OF SOLID MODELING

¹Dubinina M.V., ²Ilyin S.R.

¹Branch of Scientific Research Institute of Mine Mechanics named by M.M. Fedorov, ²Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine

Аннотация. С ростом срока эксплуатации стволов, в принципе, как и при проектировании новых и реконструкции (модернизации) старых - проблема обеспечения безопасности движения подъемных сосудов по проводникам жесткой армировки приобретает особую актуальность, так как требует проведения разнопланового и систематического исследования уже эксплуатируемого и вновь закладываемого оборудования по критерию взаимной пригодности и высокой степени безотказности. Для старых стволов, имеющих геометрические нарушения вследствие геологических процессов и сильные коррозионный и механический износы - также необходимы дополнительные исследования взаимодействия системы «подъемный сосуд - армировка» (ПСА) для выявления аварийноопасных участков армировки с последующей разработкой решений и соответственно мероприятий по приведению этих участков в безопасное и безаварийное состояние.

Методом конечно-элементного моделирования получены жесткостные параметры наиболее распространенных схем армировок и конструкций подъемных сосудов и амплитудно-частотные параметры системы ПСА современных отечественных угледобывающих предприятий. Полученные результаты расчетов для отдельных элементов ПСА, а также их взаимодействия соответствуют результатам, полученным в работах Гаркуши-Дворникова, однако такой подход не позволяет учесть все конструктивные особенности как оборудования системы «ПСА» (а также и узлов их взаимодействия), так и геометрические изменения армировки вследствие геологических и «временных» факторов (механический износ и коррозия). Возможность определения конструктивных недостатков элементов системы «ПСА» и дальнейшего их учета при «подборе» жесткостных, а соответственно и частотных характеристик элементов системы «ПСА» делает конечно-элементное моделирование незаменимым инструментом, как на этапе проектирования, так и при последующей эксплуатации и возможной реконструкции (с учетом их фактического технического состояния).

Длительная эксплуатация подъемных установок в сложных горно-геологических условиях неизбежно приводит к конструктивным изменениям их элементов. При этом в течение нескольких десятилетий появляются новые типы основных узлов, меняющие расчетные схемы исходного оборудования. Все это требует при проведении экспертных исследований и оценки безопасности выполнять значительный объем динамических расчетов, не заложенных в классической Методике ННІГМ ім. М.М.Федорова. В этой ситуации единственным выходом является разработка нового методического подхода, позволяющего учитывать новые изменения и адекватно и достоверно оценивать безопасность эксплуатации подъемных установок в условиях повышенного износа и растущих отклонений геометрических параметров от проектных величин.

Ключевые слова: динамические параметры, подъемные сосуды, армировка, твердотельное моделирование.

Классическая методика ННІГМ ім. М.М. Федорова основана на аналитических решениях разрешающей системы дифференциальных уравнений динамики системы «подъемный сосуд – армировка» (ПСА) Н.Г. Гаркуши-В.И. Дворникова, полученных в 70-х годах.

Расчетные схемы элементов системы (сосудов, проводников, расстрелов, схем ярусов), для которых получены аналитические решения и расчетные формулы, не содержат новых конструкций, которые появились в последние несколько десятилетий в отечественной и зарубежной практике.

Поэтому профессором В.И. Дворниковым в 2013 году была поставлена задача разработки более общих динамических моделей на основе методов твердотельного моделирования, решению которой посвящена данная работа.

1. Исследование распространения деформаций в вертикальных плоскостях армировки и влияния контактной нагрузки со стороны ПС

а) твердотельная модель (ТТМ) 9-ти ярусов армировки для исследования распространения деформаций в вертикальных плоскостях и влияния контактной нагрузки со стороны подъемного сосуда в ярусе и в пролете, а также определение жесткости армировки.

В качестве визуально понятного примера на рис. 1. приведена одна из простых схем твердотельной модели армировки с односторонним расположением проводников на центральном расстреле.

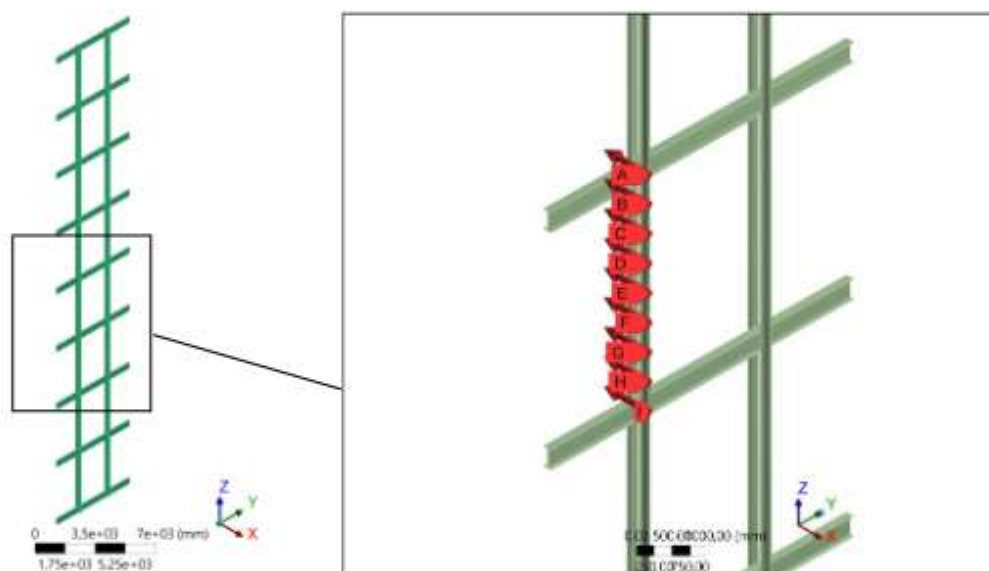


Рисунок 1 – Схема нагружения ТТМ армировки

В качестве базового, для расчетов выбран участок армировки, ограниченный девятью пролетами, так как в работе [4] было показано, что под действием подъемного сосуда параметры напряженно-деформированного состояния армировки (напряжения, прогибы) затухают в обе стороны по высоте ствола от точки воздействия так, что учет большего числа ярусов не приводит к дальнейшему уточнению результатов, а для уменьшения времени вычислений приемлемо построение схем армировки с 7-ю ярусами (здесь нужно отметить, что на время вычислений, равно как и на качество полученных результатов, также оказывает влияние и качество сетки конечных элементов – чем «крупнее» сетка тем меньше кол-во конечных элементов а соответственно и время выполнения расчетов, также большее кол-во ядер процессора (а лучше процессоров) вычислительной машины уменьшает время расчета).

В качестве граничных приняты условия жесткого закрепления концов горизонтальных расстрелов в крепи ствола (на схеме не показана). Проводники и расстрелы моделируются упругими балочными элементами с параметрами сечений и размерами, заданными в паспортах стволов. Соединение проводников и расстрелов - жесткое.

Стрелками А, В, С, ..., I на Рис 1 показаны точки приложения и направление приложения силы к проводнику (на рисунке показано только лобовое направление, таким же образом сила прикладывается и в боковом направлении);

б) распространения деформации проводников и расстрелов в вертикальных плоскостях под действием контактной нагрузки со стороны подъемного сосуда в ярусе и в пролете, а также определение жесткости армировки.

На рис. 2, 3 приведены результаты расчета по схеме рис. 1 при лобовом и боковом направлениях приложенной силы. Рассчитывались варианты приложения нагрузки в лоб и в бок, в ярусе и в пролете между ярусами. Проводились варианты расчеты, учитывающие различное число ярусов в расчетном блоке. Выполненные исследования показали, что учет более чем 7 ярусов нецелесообразен, так как их дальнейшее увеличение вносит поправку в значение максимальных напряжений и прогибов проводников и расстрелов не более чем на 1%, при этом существенно увеличивая время счета.

По рис. 2 видно, что основную нагрузку, под действием приложенной силы в лобовом направлении в ярусе, воспринимает непосредственно сам ярус и в меньшей степени два соседних яруса, а при той же силе и ее направлении, но приложенной в пролете между ярусами - напряжения практически в равной степени распространяются по этим двум смежным ярусам. Жесткость плоскости армировки под действием силы в лобовом направлении практически одинакова вне зависимости от места приложения этой силы.

На рис. 3 представлены деформации под воздействием силы, приложенной к проводнику в бок в ярусе и в пролете между ярусов соответственно. Всю основную нагрузку воспринимает ярус, в области которого прикладывается единичная сила, так как на сжатие сопротивление балки больше, чем на изгиб. Деформация соседних ярусов приблизительно в три раза меньше и далее затухает. Полученная жесткость на порядок выше, чем при лобовом направлении приложения силы или боковом в пролете – где смежные яруса практически не деформированы, и видна лишь максимальная деформация проводника.

Для тестовых примеров полученные значения жесткости соответствуют значениям, рассчитанным по классической методике, разработанной Н.Г. Гаркушей - В.И. Дворниковым. При уменьшении участка армировки до 5 ярусов погрешность результатов, полученных методом конечных элементов и рассчитанных по классической методике не достигает и 5 %.

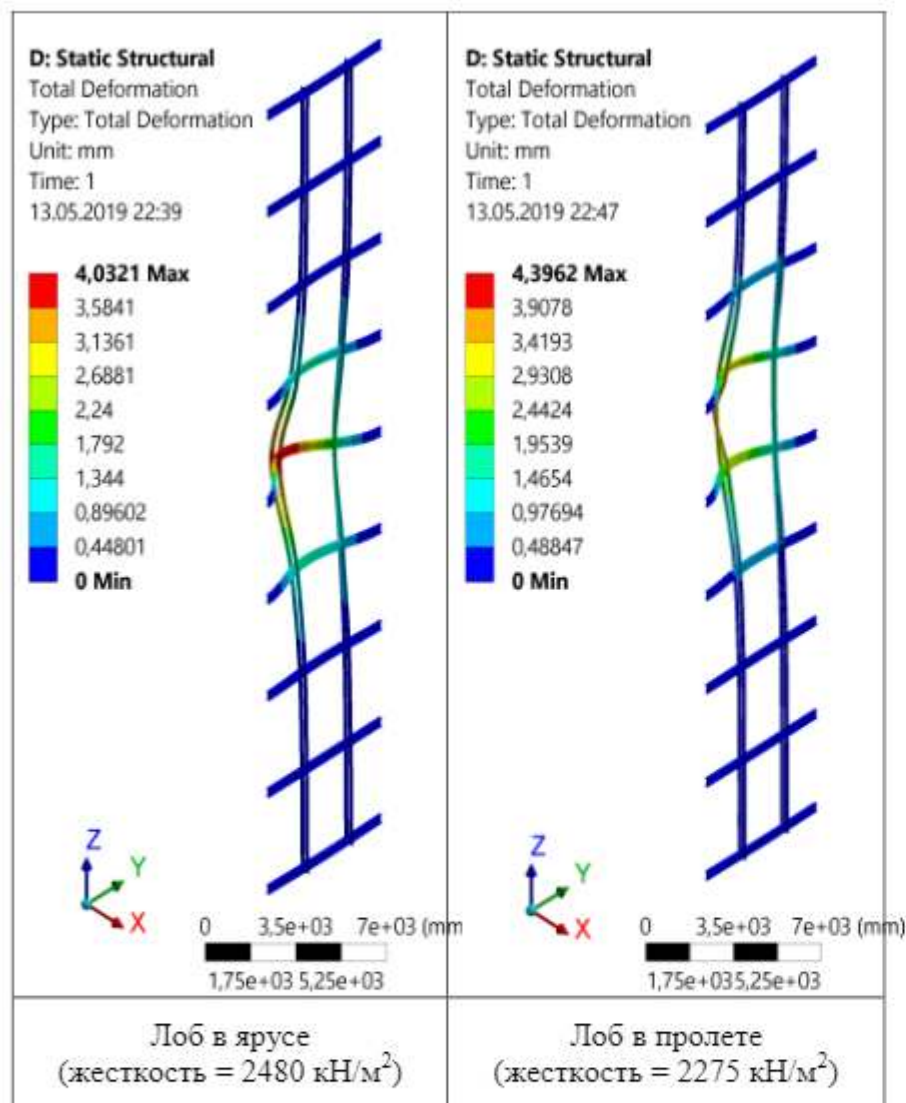


Рисунок 2 – Результаты расчета при лобовом направлении приложенной силы

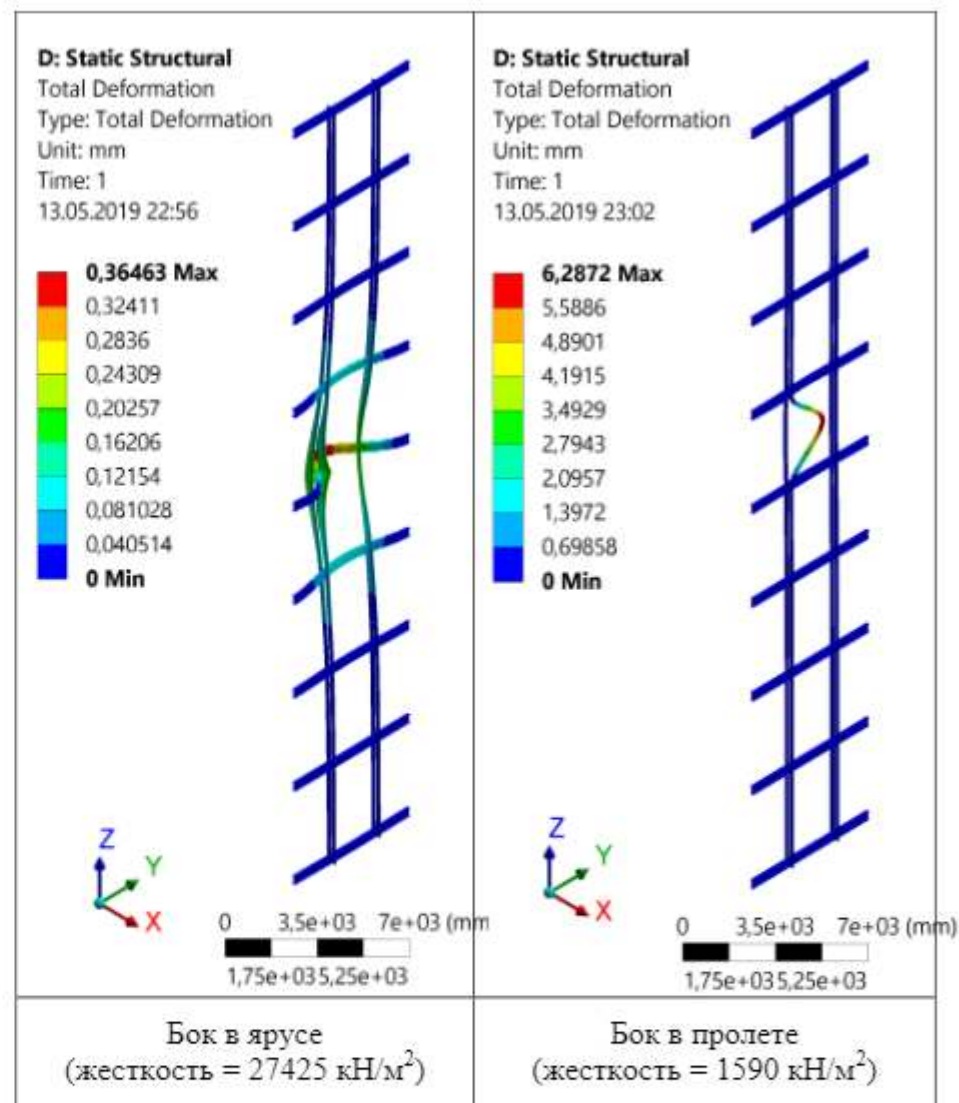


Рисунок 3 – Результаты расчета при боковом направлении приложенной силы

2. Исследование собственных частот колебаний сосудов и армировки, динамической изгибной жесткости

а) ТТМ ПСА разной конструкции для исследования собственных частот колебаний сосудов и армировки, динамической изгибной жесткости.

По назначению скипы подразделяются на угольные, рудные и породные, которые конструктивно идентичны, но отличаются между собой габаритами и типоразмерами применяемого металлопроката. Способ разгрузки скипа определяет разделение скипов на три группы: скипы с неподвижным кузовом, с отклоняющимся кузовом и опрокидные. К первой группе скипов относятся скипы типа СН, СНМ, СОВ и НКМ. Две последние группы в настоящее время имеют малое распространение и здесь не рассматриваются. На рис. 4 представлены ТТМ наиболее распространенных конструкций скипов.

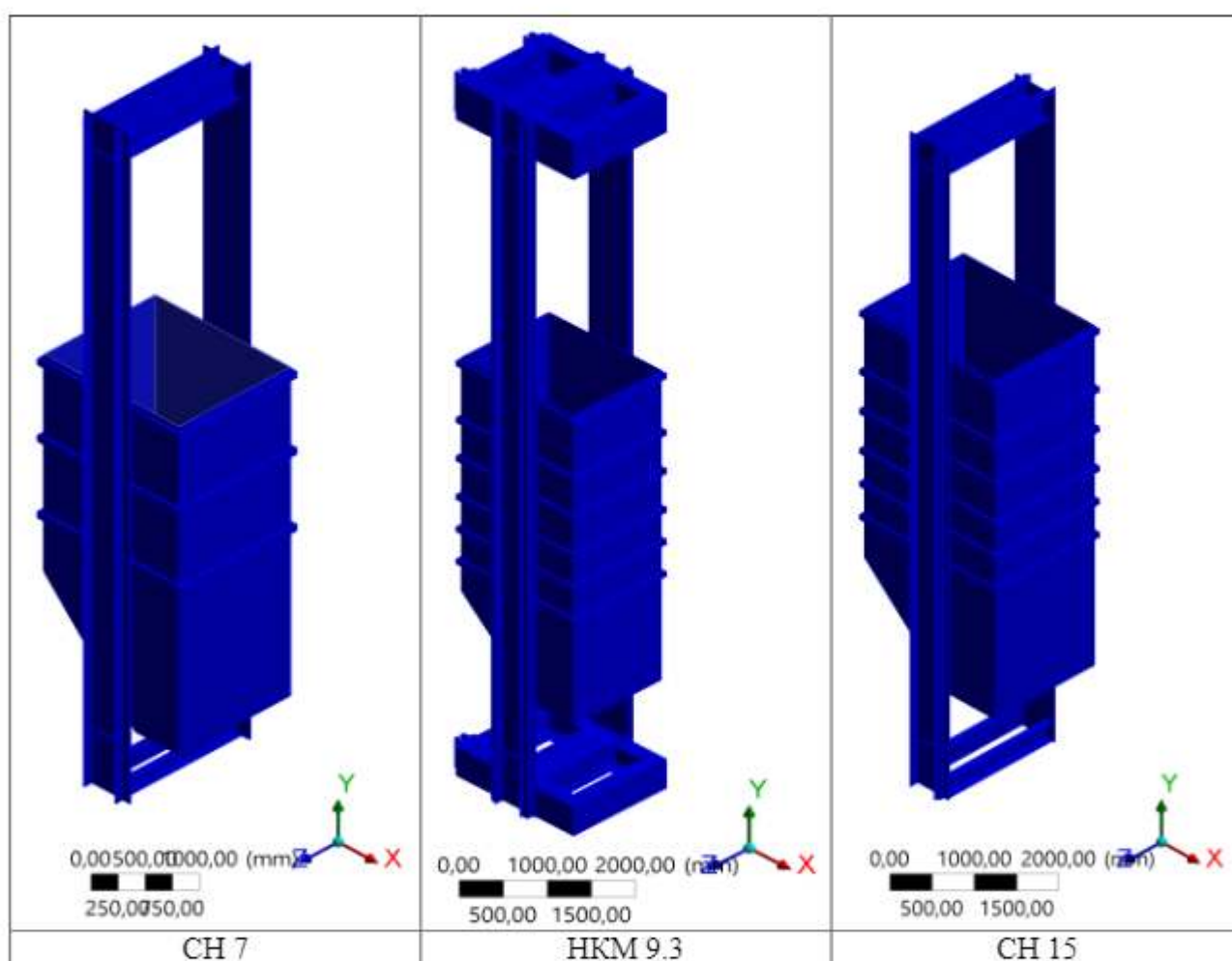


Рисунок 4 – ТТМ разных конструкций сосудов (скипы)

Основными параметрами скипов в системе «ПСА» являются емкость кузова и жесткость скипа (лобовая и боковая).

Каждый сосуд движется по одной или двум плоскостям армировки. Эти плоскости представляют собой решетчатую конструкцию, состоящую из горизонтальных расстрелов и вертикальных проводников. Конструктивно яруса могут состоять из одиночной балки (простейшая конструкция схема 1 рис. 5),

из двух или трех параллельных не соединенных между собой балок (схема 3 рис. 5) и выполняться сложной связанной конструкцией (схема 2 рис. 5). Проводники по расположению могут быть одиночные боковые (I на схеме 2 рис. 5) и двойные боковые (I и III на схеме. 3 рис. 5), спаренные центральные (II на схеме 2 рис. 5) и спаренные двойные центральные (II на схеме. 3 рис. 5),

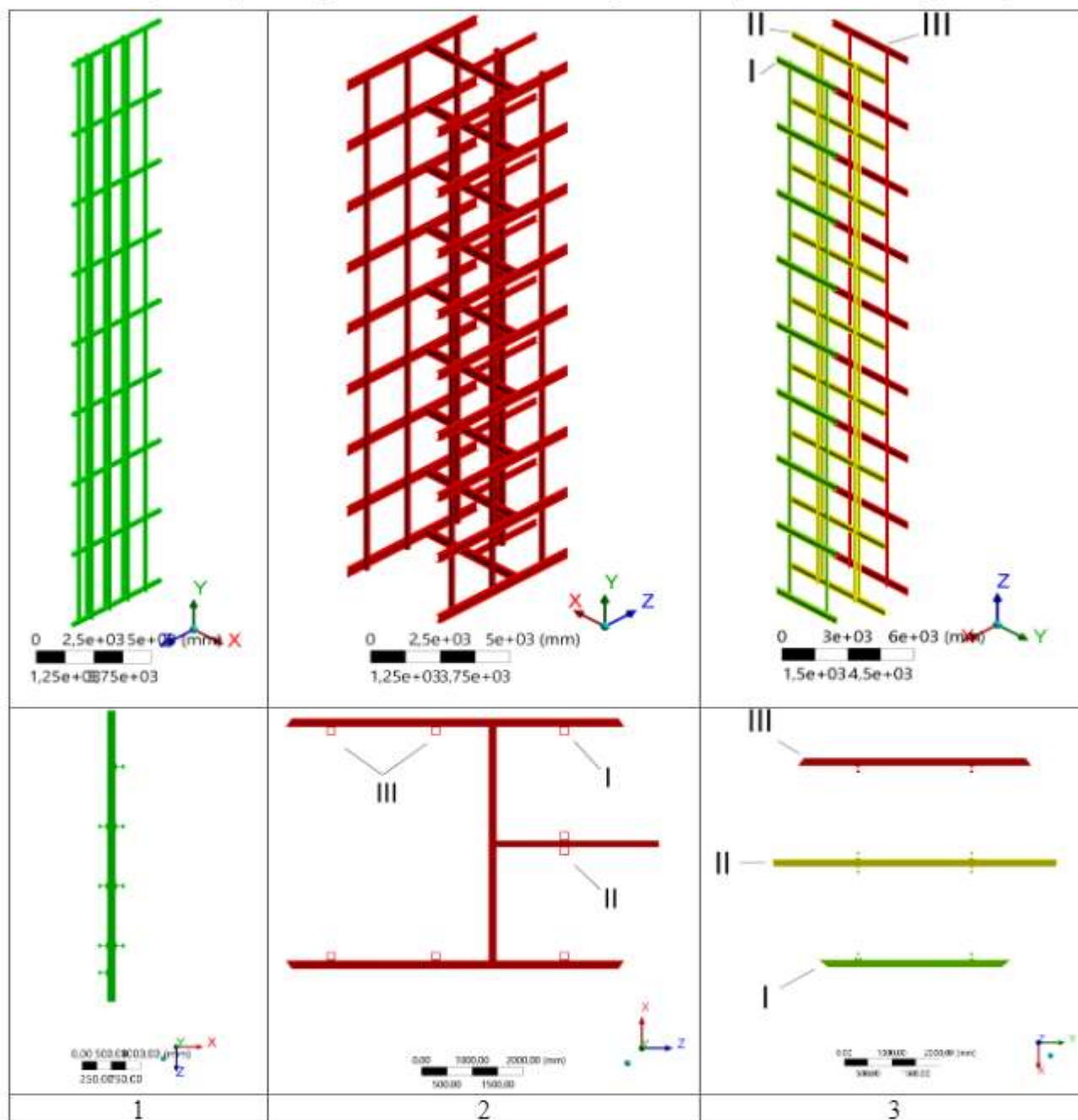


Рисунок 5 – ТТМ разных схем армировок

В тестовом примере на рис. 6 представлен один скип НКМ 9.3 двухскиповой подъемной установки на участке армировки из девяти ярусов по схеме 1 рис. 5. Эта схема примечательна тем, что не стандартным образом применяется расположение проводников в одной плоскости армировки с односторонним расположением направляющих устройств для 3-х скипов и одного противовеса;

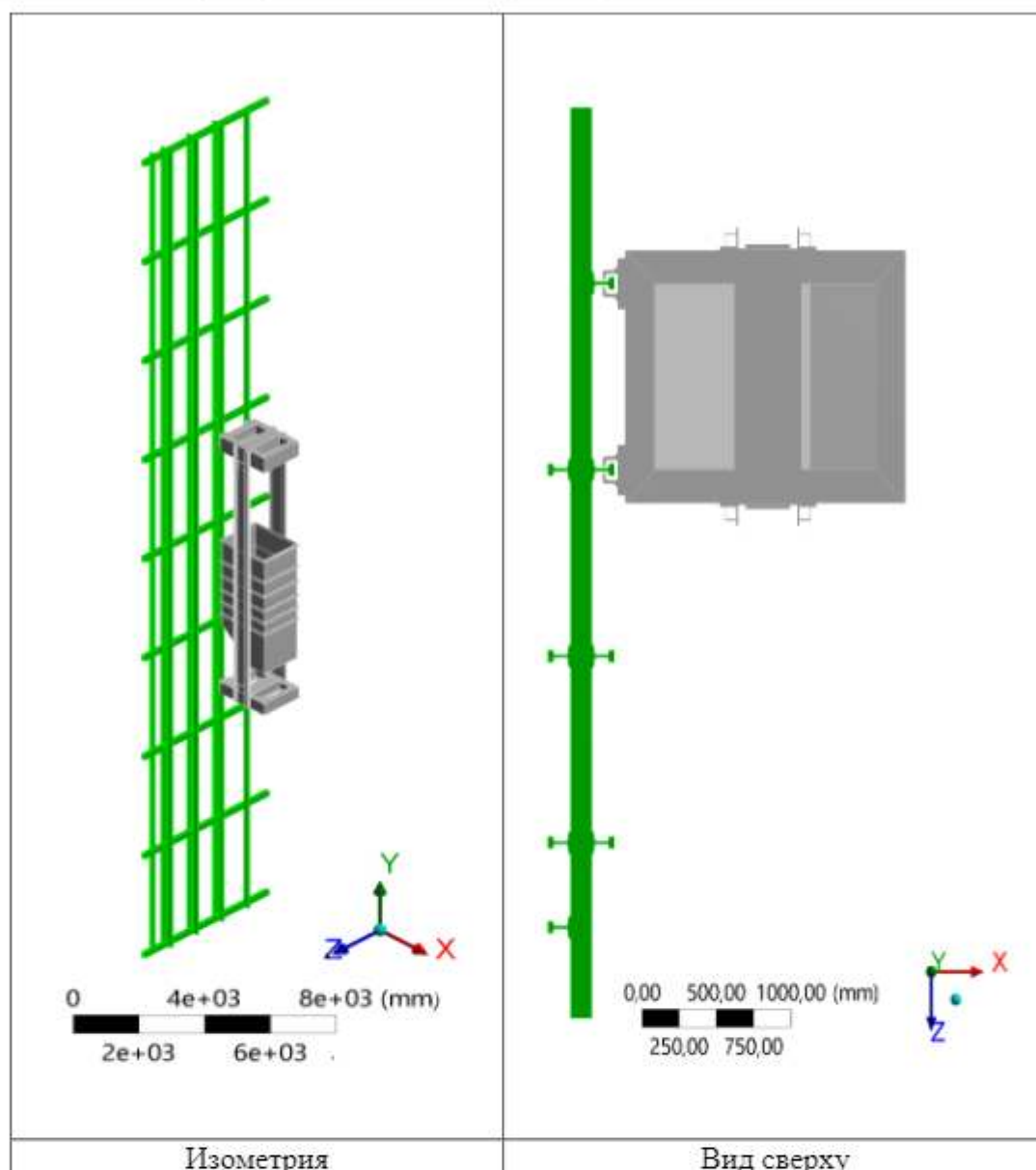


Рисунок 6 - ТТМ ПСА, принятая к расчету

б) результаты исследований собственных частот колебаний ПСА, динамической изгибной жесткости.

На рис. 7, 8 представлены результаты частотного расчета ТТМ системы «подъемный сосуд - армировка» по определению форм и частот собственных колебаний в увеличенном для наглядности масштабе.

По результатам анализа видно, что в диапазонах 84 – 90 Гц (6 – 8 моды) и 112 – 118 Гц (10 – 11 моды) есть вероятность вхождения системы «подъемный сосуд - армировка» в резонанс.

Результаты расчета показывают, что во всех случаях частоты колебаний в боковом направлении у плоскости армировки выше, чем в лобовом. Чем «шире» (чем больше длина расстрела) плоскость армировки (к примеру, на схеме 3 рис. 5 – это плоскость II), тем ниже ее частота колебаний в лобовом направлении по сравнению с крайними плоскостями (плоскости I и II на схеме 3 рис. 5).

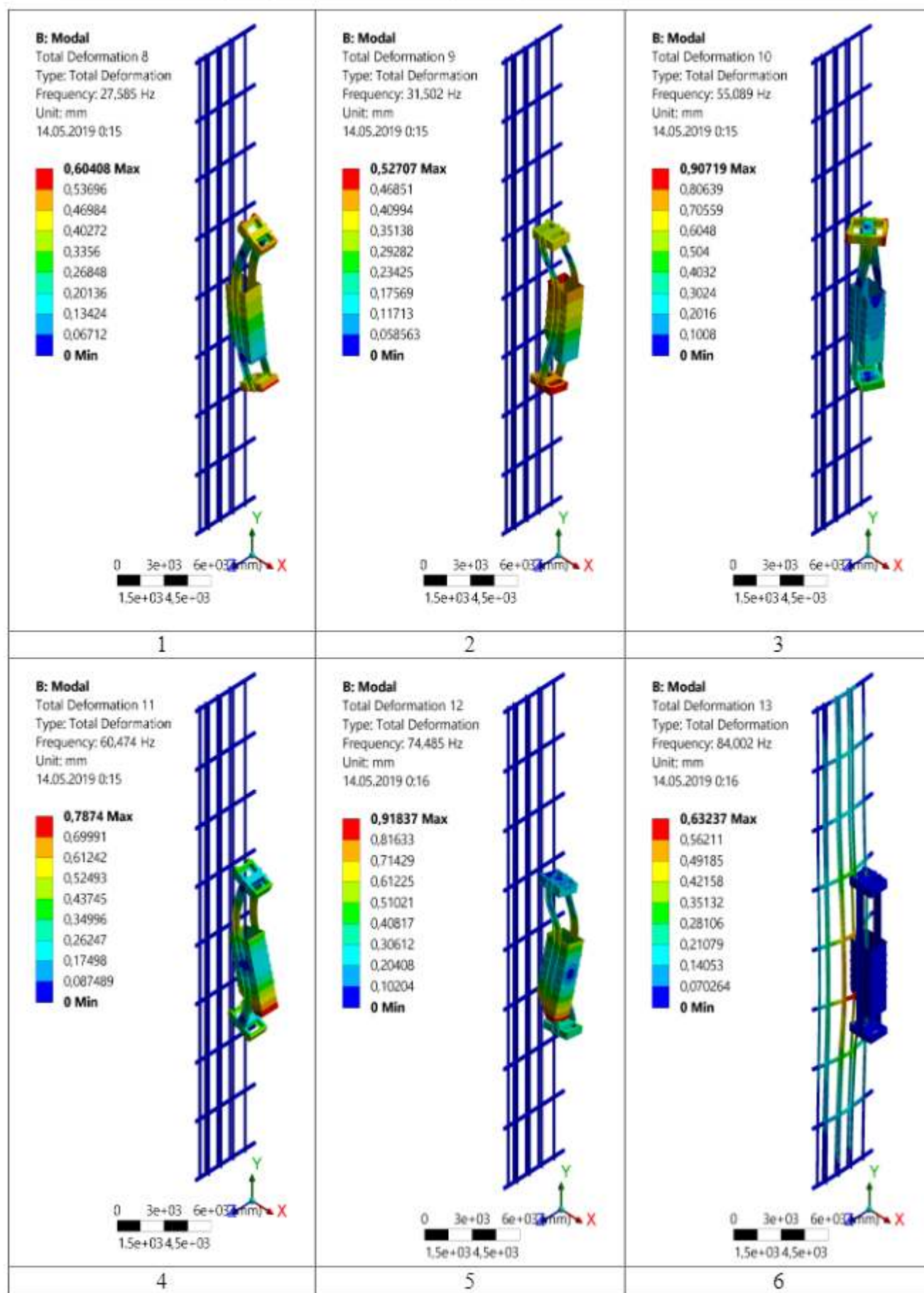


Рисунок 7 - Результаты частотного расчета «моды 1-6»

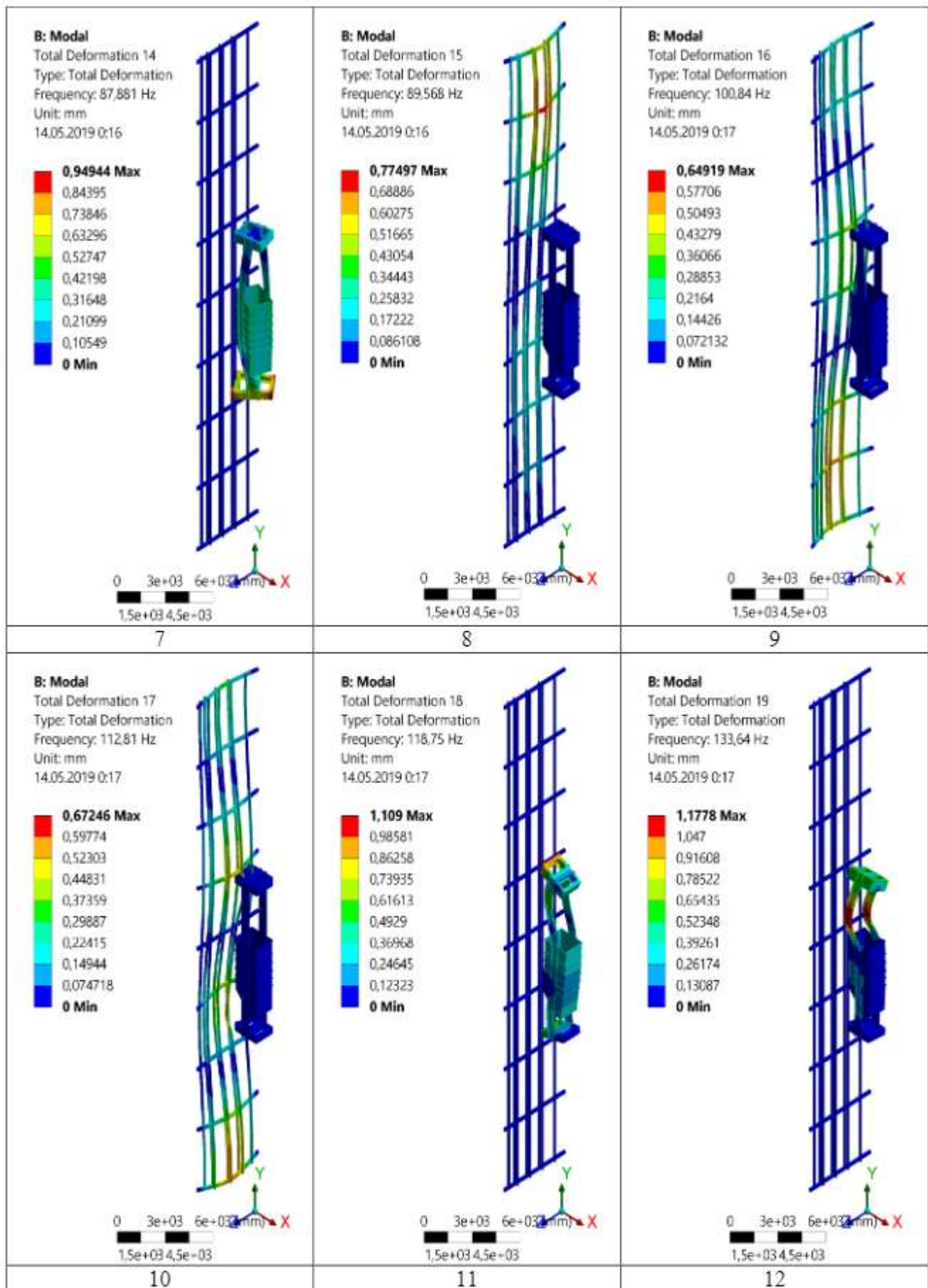


Рисунок 8 - Результаты частотного расчета «моды 7-12»

Если плоскости армировки не связаны между собой, а концы расстрелов заделаны только в крепи (схема 3 рис. 5), то частоты колебаний такой системы выше, чем в такой, в которой все расстрелы связаны между собой (схема 2, рис. 5). Чем больше точек закрепления расстрелов в крепи при помощи дополнительных «распорок» и чем меньше плоскость армировки, тем больше будет собственная частота колебаний (схема 2, рис. 5).

В лобовом направлении колебания распространяются по всей плоскости (по высоте ствола), а в боковом только пролеты проводников, соседствующие с местом приложения контактной нагрузки, так как жесткость расстрела на сжатие намного больше, чем на изгиб и кручение.

Среди представленных на рис. 5 схем самая низкая (меньшая) частота у плоскости с двумя по бокам разнесенными проводниками при заделке расстрелов в крепь (схема 3 рис. 5 – плоскость II или представленная расчетная схема рис. 6).

Для получения полной картины состояния системы «подъемный сосуд - армировка» в процессе эксплуатации дополнительно с расчетными результатами при экспертных обследованиях необходимо дополнительно снимать частотные характеристики систем ПСА для определения реальных (фактических) частот системы по отношению ко времени и скорости движения сосуда в стволе, а также в зависимости от наличия либо отсутствия груза в сосуде. Такой подход дает возможность определить, какие факторы негативно сказываются на работе конкретной системы ПСА и установить условия их проявления.

Данный способ применим и при проектировании новых стволов, когда на этапе проектирования и закладывания стволового оборудования заранее можно выявить несоответствия.

3. Исследование статической изгибной жесткости

а) ТТМ ПС для исследования статической изгибной жесткости.

Представленный на рис. 9 скип СНМ 25 принят к расчету по ряду причин, - это наибольший типоразмер скипа, а соответственно и габаритные размеры металлоконструкции и заложенного в нем металлопроката, он и на данный момент находится в эксплуатации с 1989 г. и проходил неоднократное экспертное обследование с последующим прочностным расчетом и выдачей рекомендаций по дальнейшей эксплуатации, и самое основное - конструкция скипа выполнена в том виде, для которого производился расчет при составлении «Методики расчета жестких армировок шахт» [7], и в ней же представлены расчетные результаты лобовой и боковой жесткости данного скипа.

Жесткость подъемного сосуда может определяться двумя способами:

- приложением силы, распределенной по боковым стенкам кузова скипа;
- под собственным весом самого подъемного сосуда.

При этом в обеих схемах сосуд жестко фиксируется в месте крепления направляющих устройств (основных или предохранительных), как правило, они немного смещены от верхней и нижней горизонтальных балок к центру скипа.

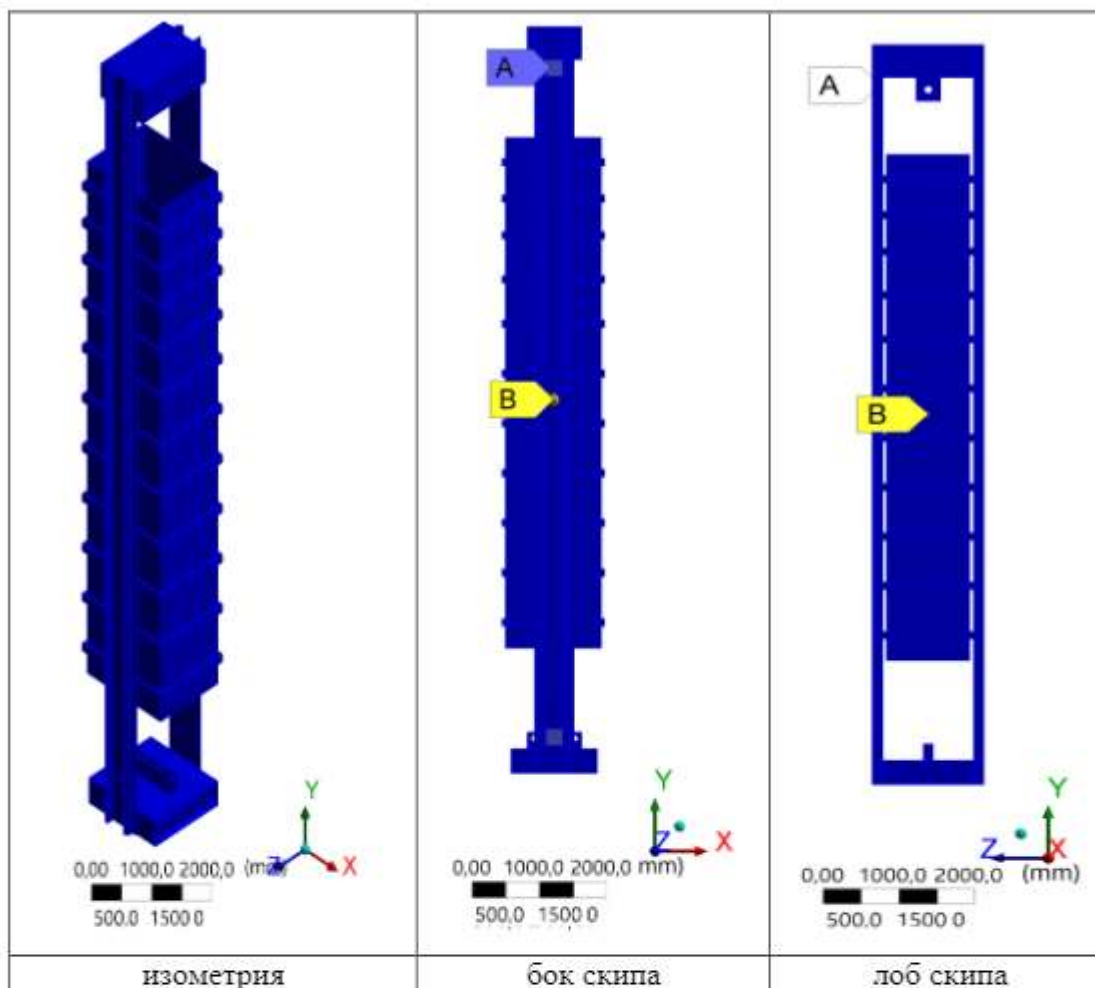


Рисунок 9 – ТТМ скипа CHM 25

б) исследования статической изгибной жесткости сосудов (рис. 10,11).

Выполненный расчет на крупнотоннажном сосуде примечателен своими малыми отклонениями в полученных результатах в сравнении с результатами классической методики (погрешность находится в пределах 5%), т.к. отклонения в результатах, полученных на малотоннажных сосудах (а соответственно мало массогабаритных), не могут гарантировать соответствие при увеличении массогабаритных размеров.

Опыт проведения экспертных обследований подъемных сосудов с длительными сроками эксплуатации (свыше 10 лет) и для которых в дальнейшем производился проверочный расчет ввиду их высокого коррозионного износа (согласно ПБ [5] свыше 20%) ни разу не оставил повода для сомнений в полученных результатах, т.к. картина расчетных деформаций (рис. 12) всегда соответствовала натуральным – обнаруженным при исследованиях (рис. 13).

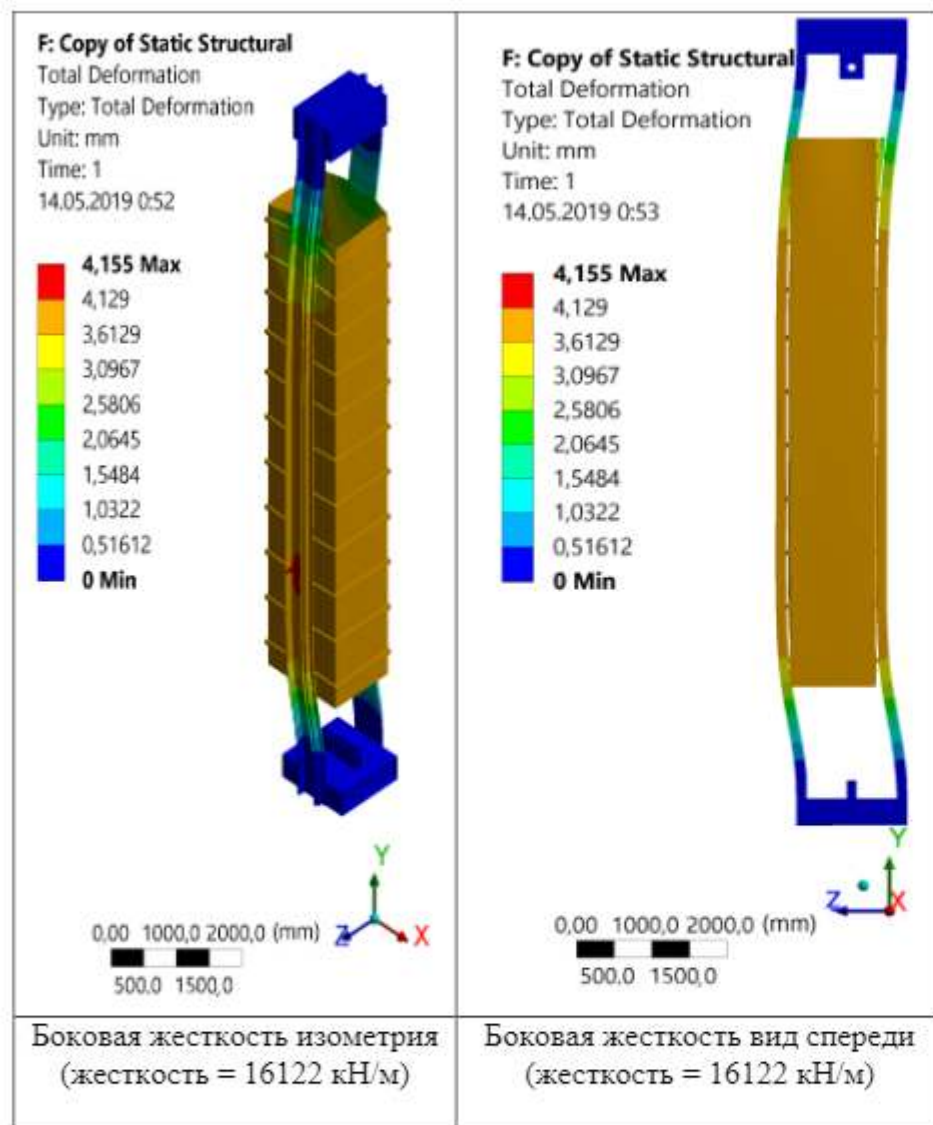


Рисунок 10 – Результаты расчета при боковом направлении приложенной силы Слип CHM 25

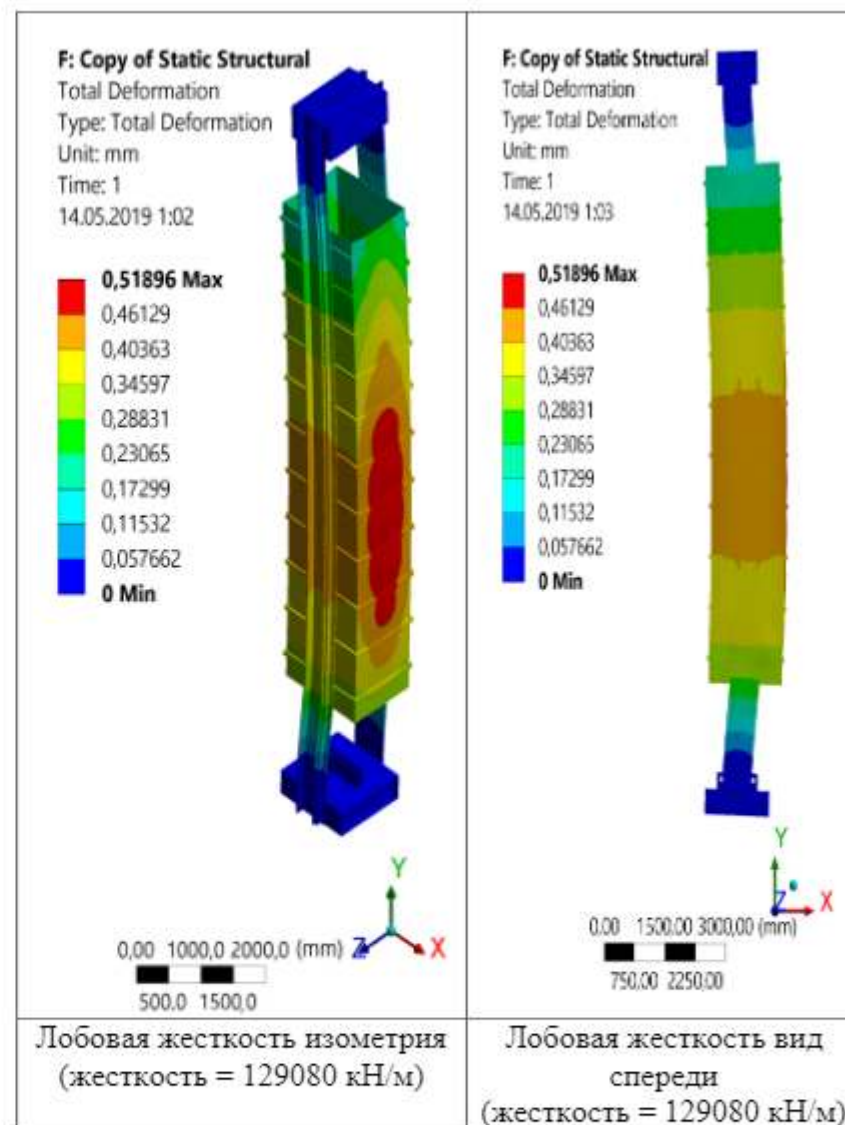


Рисунок 11 – Результаты расчета при лобовом направлении приложенной силы Слип CHM 25

B: Static Structural

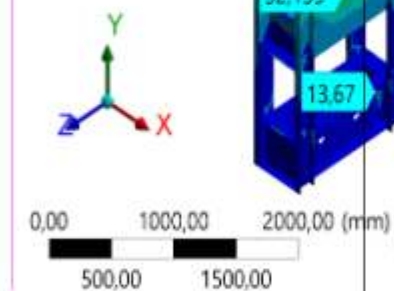
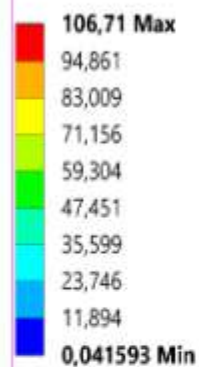
Equivalent Stress

Type: Equivalent (von-Mises) Stress

Unit: MPa

Time: 1

10.09.2019 12:50



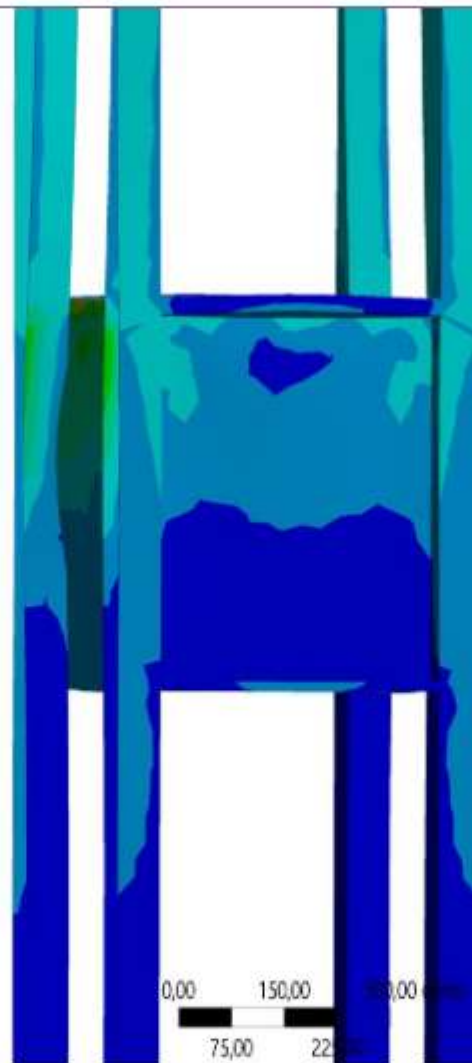
26,157

15,81

60,418

52,159

13,67



Зона деформации



Рисунок 12 – Расчетные результаты напряжений и деформаций противовеса ш. Южнодонбасская №1

Рисунок 13 – Фотография реальных деформаций подгрузовой балки противовеса ш. Южнодонбасская №1

Как правило, это многоканатные подъемные установки, где, помимо массы основного груза, присутствует масса «уравновешивающих канатов» и их подвесных устройств, и изначально такие сосуда находятся в более тяжелых (нагруженных) условиях эксплуатации, чем одноканатные.

Подводя итоги, можно отметить, что применение конечно-элементного моделирования и последующих расчетов позволяют учесть все конструктивные особенности как новых типов армировки и сосудов, так и узлов их взаимодействия (при этом на стадии проектирования можно «подбирать» жесткостные, а соответственно и частотные характеристики элементов системы «подъемный сосуд - армировка»), как на этапе ввода в эксплуатацию, так и в процессе длительной эксплуатации (с учетом их фактического технического состояния). А учитывая долгий период эксплуатации, в течении которого необходимо производить дополнительные расчеты соответствия эксплуатируемого оборудования с учетом фактического состояния сосудов и армировки и транспортируемой ими массы груза

На рис. 12 представлена расчетная картина напряжений и деформаций противовеса одноклетевого подъема ш. Южнодонбасская №1, где наблюдается заметная деформация «подгрузовой балки», а на рис. 13 представлена фотография реальных деформаций того же элемента конструкции.

Выводы

1. Длительная эксплуатация отечественных подъемных комплексов (более 40-50 лет) в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях, совмещенных с интенсивным механическим и электрохимическим износом основных несущих металлоконструкций, изменение номенклатуры используемого при ремонтах оборудования, привела к ситуации, требующей разработки нового методического подхода к расчету основных динамических критериальных параметров, устанавливающих допустимые режимы эксплуатации в зонах динамической устойчивости сложной многомассовой системы шахтного подъема.

2. Метод конечноэлементного моделирования является наиболее рациональным и предпочтительным для определения амплитудно-частотных характеристики и оценки устойчивости движения подъемных сосудов по армировке стволов.

3. Развитие современных программно-аппаратных комплексов позволяет оперативно учитывать появление нового оборудования, изменения в расчетных схемах, износ, искривления армировки при проведении плановых обследований и выдаче заключений о безопасности и допустимых режимах эксплуатации подъемных комплексов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плахно М. Новые методы проектирования жесткой армировки стволов // Горнодобывающие науки 50. 2006. выпуск 4. с. 465-496.
2. Воробель С.В., Трифанов Г.Д., Князев А.А. Динамическое обследование жёсткой армировки шахтных стволов // Проблемы комплексного освоения месторождений полезных ископаемых в Пермском крае: материалы краевой научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. Пермь ПГТУ, 2007 с. 195 – 201.

3. Хансэл Дж., Кавка Г., Плахно М. Диагностика шахтных проводников // Механика. том 4, часть 2. Краков. Издательство AGN, 1985. с. 115-128.
4. Дворников В.И., Дубинин М.В. Конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного состояния жесткой армировки стволов под действием эксплуатационных нагрузок со стороны подъемных сосудов // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горно-шахтного и нефте-промышленного оборудования: Материалы I Международной науч.-практ. конф. «Горная электромеханика – 2014», Пермь. -2014 г. / под ред. д-ра техн. наук Г.Д. Трифанова и д-ра техн. наук, проф. Г.З. Файнбурга. Пермь: Изд-во Перм. нац. иссл. политех. ун-та, 2014. с.55-60.
5. НПАОП 10.0-1.01-10. Правила безпеки у вугільних шахтах: Затв. наказом Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду 22.03.2010 № 62. Київ: Мінвуглепром України, 2010 430 с. (Нормативний документ Мінвуглепрому України)
6. Ильин С.Р., Соломенцев К.А., Василькевич В.И. Анализ влияния формы сечения коробчатых проводников жесткой армировки шахтных стволов на допустимую скорость движения подъемных сосудов // Геотехническая механика: Межвед. сб-к. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. Днепропетровск, -2014. Вып. 120 с. 265-275.
7. Методика расчета жестких армировок вертикальных стволов шахт / НИИГМ им. М.М. Федорова. Донецк, 1994.
8. Ильин С.Р. Опыт динамического аппаратного контроля и оценка безопасной эксплуатации системы "сосуд - армировка" вертикальных шахтных стволов / Международный журнал транспорта и логистики, с. 395-403.
9. Ильин С.Р., Трифанов Г.Д. Динамическая диагностика систем «сосуд – армировка» вертикальных шахтных стволов // Горное оборудование и электромеханика. 2009. №8. с. 29 – 34.

REFERENCES

1. Plachno M. (2005) "New approach to the design of shaft steelwork", Mining sciences 50, Issue 4, pp. 465-496.
2. Vorobel S.V., Trifanov G.D. and Kniazev A.A. (2007), "Dynamic Survey rigid reinforcement shafts Problems of the integrated development of mineral deposits in the Perm region", *Materials the edge scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists*, Perm Publishing House of Perm State Technical University, Perm, RU, pp. 195 – 201.
3. Hansel J., Kawka G. and Plachno M. (1985), "An estimation of mine conveyance guiding", *Mechanika*, Vol. 4, part 2, Wydawnictwo AGN, Krakow, Pol. pp.115-128.
4. Dvornikov V.I. and Dubinin M. V. (2014), "Finite element modeling for stress-strain state of the mine trunks reinforcement that it has been made shaft skip", *Aktualnye problemy povysheniia effektivnosti i bezopasnosti erspluatatsii gorno-shakhtnogo i mefte-promyslovogo oborudovaniia* [The issue of the day of increase of efficiency and safety of exploitation of mining and oil-commercial equipment], *Materialy I Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Gornaia elektromekhanika - 2014"* [Materials of the I International science and practical conference «Mine electromechanics – 2014»], Perm national research polytechnic university, Perm, Ru, pp. 55-60.
5. State committee of Ukraine on industrial safety, labour protection and mountain supervision (2010), *NPAOP 10.0-1.01-10. Pravila bezpeki u vugilnich shakhtakh* [NPAOP 10.0-1.01-10 Rules of safety in coal mines], Kiev, Ukraine.
6. Ilyin S. R., Solomencev K. A. and Vasylykevych V. I. (2014), "Analysis of the influence of the form of box-shaped cross-section streak rigid reinforcement shafts on permissible speed of hoisting vessels", *Geo-Technical Mechanics*, no. 120, pp. 265-275.
7. *Metodika raschyeta zhyestkikh armirovok vertikalnykh stvolov shakht* [Method of calculating the rigid reinforcement vertical shafts] (1994), M.M. Fedorov Research Institute of mining mechanics (ed.), Donetsk, Ukraine.
8. Ilyin S. R. (2010) "The experience of dynamic apparatus control and estimation of exploitation system safety "vessel – reinforcement" of vertical mining shafts", *The International Journal of transport & logistics*, pp.395-403.
9. Ilyin S. R. and Trifanov G.D. (2009), "Dynamic diagnostics of systems "vessel - reinforcement" vertical shafts", *Mining Equipment and Electromechanics*, no. 8. pp. 29 - 34.

Об авторах

Дубинин Михаил Валерьевич, научный сотрудник, Научно-исследовательский институт горной механики им. М.М. Федорова (Филиал НИИГМ им. М.М. Федорова), Киев, Украина

Ильин Сергей Ростиславович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник старший научный сотрудник отдела горной термоаэродинамики и автоматизированных систем, Институт геотехнической механики им. Н.С.Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепр, Украина, iljin_sr@ukr.net

About the authors

Dubinin Mykhaylo Valeriiovych, Master of Science, Researcher, M.M. Fedorov Research Institute of mining mechanics (RIMM), Kyiv, Ukraine.

Iljin Serhii Rostyslavovych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Researcher, Senior Researcher of the Department of Rock Thermoaerodynamics and Automated Systems, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poliakov of National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NAS of Ukraine), Dnipro, Ukraine, iljin_sr@ukr.net

Анотація. З ростом терміну експлуатації стволів, в принципі, як і при проектуванні нових і реконструкції (модернізації) старих - проблема забезпечення безпеки руху підйомних посудин по провідникам жорсткого армування набуває особливої актуальності, так як вимагає проведення різнопланового і систематичного дослідження обладнання що вже експлуатується і знову закладається за критерієм взаємної придатності і високого ступеня безвідмовності. Для старих стволів, що мають геометричні порушення в слідстві геологічних

процесів і сильні корозійний і механічний знос - також необхідні додаткові дослідження взаємодії системи «підйомна посудина - армування» (ППА) для виявлення аварійно небезпечних ділянок армування з подальшою розробкою рішень і відповідно заходів щодо приведення цих ділянок в безпечний та безаварійний стан. Методом скінцево-елементного моделювання отримані параметри жорсткості найбільш поширених схем арміровок і конструкцій підйомних посудин і амплітудно-частотні параметри системи «ППА» сучасних вітчизняних вугледобувних підприємств. Отримані результати розрахунків для окремих елементів «ППА», а також їх взаємодії відповідають результатам, отриманим в роботах Гаркуши-Дворнікова, однак такий підхід дозволяє врахувати всі конструктивні особливості як обладнання системи «ППА» (а також і вузлів їх взаємодії), так і геометричні зміни армування внаслідок геологічних і «часових» факторів (механічний знос і корозія). Можливість визначення конструктивних недоліків елементів системи «ППА» і подальшого їх врахування при «підборі» жорсткісних, а відповідно і частотних характеристик елементів системи «ППА» робить звичайно-елементне моделювання незамінним інструментом, як на етапі проектування, так і при подальшій експлуатації і можливої реконструкції (з урахуванням їх фактичного технічного стану). Тривала експлуатація підйомних установок в складних гірничо-геологічних умовах неминуче призводить до конструктивних змін їх елементів. При цьому протягом декількох десятиліть з'являються нові типи основних вузлів, що змінюють розрахункові схеми вихідного обладнання. Все це вимагає при проведенні експертних досліджень і оцінки безпеки виконувати значний обсяг динамічних розрахунків, які не закладені в класичній Методиці НДІГМ ім. М.М.Федорова. У цій ситуації єдиним виходом є розробка нового методичного підходу, що дозволяє враховувати нові зміни і адекватно і достовірно оцінювати безпеку експлуатації підйомних установок в умовах підвищеного зносу і зростаючих відхилень геометричних параметрів від проектних величин.

Ключові слова: динамічні параметри, підйомні посудини, армування, твердотільне моделювання.

Annotation. With increased service life of the shafts the problem of ensuring safe movement of skips along the rigid reinforced guides is especially urgent both for designing of new shafts and reconstruction (modernization) of the old ones and requires a diverse and systematic study of the equipment, which is already in operation or newly designed, by the criterion of mutual suitability and high degree of failure-free operation. For old shafts that have geometrical disturbances due to geological processes and severe corrosion and mechanical wear, additional studies of interaction between the elements of the "skip – shaft equipment" (SSE) system are also needed in order to identify emergency sections of the shaft equipment and to make decisions and develop measures for bringing these sections to safe and trouble-free condition. By the finite element modeling, we obtained rigidity parameters for the most common schemes of the shaft equipment and skip designs and amplitude-frequency parameters for the SSE systems widely used by the domestic coal-mining enterprises. The obtained calculation results for individual SSE elements and their interactions correspond to the results obtained by Garkusha and Dvornikov; however, this approach allows us to take into account all the design features of the SSE system equipment (as well as their interacting nodes) and geometric changes in shaft equipment due to geological and "time" factors (mechanical wear and corrosion). The possibility of determining the design flaws of the SSE system elements and their further consideration in the "selection" of rigidity and, accordingly, frequency characteristics for the SSE system elements makes the finite element modeling an indispensable tool both at the stages of designing the elements and their subsequent operation and/or possible reconstruction (with taking into account their actual technical condition). Long-term operation of the hoisting plants in difficult geological conditions inevitably leads to structural changes in their elements. At the same time, over the course of several decades, new types of basic units appear that change the design schemes of this equipment. All this requires, when conducting expert studies and safety assessments, to carry out a significant amount of dynamic calculations that are not inherent in the classical Methodology developed by the Scientific Research Institute of Mine Mechanics named by M.M. Fedorov. In this situation, the only way out is to develop a new methodological approach, which would take into account new changes and adequately and reliably evaluate the safety of the operation of the hoisting equipment under conditions of its high wear and growing deviations of its geometric parameters from the design values.

Keywords: dynamic parameters, lifting vessels, armouring, solid-state design.

Стаття надійшла до редакції 28.01. 2020

Рекомендовано до друку чл.-кор. НАН України О.П. Круковським