

Ильин С.Р., канд. техн. наук, ст. научн. сотр.
(ИГТМ НАН Украины)

Дубинин М.В., инженер
(НИИГМ им. М.М.Федорова)

СПЕКТРАЛЬНЫЙ И ДЕФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ «СОСУД -АРМИРОВКА» ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ

Ільїн С.Р., канд. техн. наук, ст. наук. співр.
(ІГТМ НАН України)

Дубінін М.В., інженер
(НДІГМ ім. М.М.Федорова)

СПЕКТРАЛЬНИЙ ТА ДЕФОРМАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМ «ПОСУДИНА-АРМУВАННЯ» ВЕРТИКАЛЬНИХ СТОВБУРІВ

Ilyin S.R., Ph.D. (Tech.), Senior Researcher
(IGTM NAS of Ukraine)

Dubinin M.V., M.Sc. (Tech.)
(RIMM)

SPECTRAL AND DEFORMATION ANALYSIS OF SYSTEMS "VESSELS - REINFORCEMENT" OF VERTICAL SHAFTS

Аннотация. С ростом срока эксплуатации стволов проблема обеспечения безопасности движения подъемных сосудов в жесткой армировке (по причинам увеличения степени износа ствольного оборудования, искривления осей стволов под влиянием горно-геологических и горнотехнических условий при сохранении достаточно высоких требований к производительности подъема) приобретает особую актуальность.

Методом конечно-элементного моделирования получены амплитудно-частотные и деформационные параметры наиболее распространенных схем армировок и конструкций скипов современных отечественных угледобывающих предприятий. Опираясь на эти результаты, проведен анализ минимально допустимого перекрытия проводников боковыми гранями башмаков. Полученные результаты показывают, что при неизменном уровне динамических нагрузок (динамической ширины колеи) риск выхода сосуда из зацепления растет пропорционально лобовому износу вкладышей башмаков и проводников, который приводит к увеличению лобового суммарного зазора и уменьшению области перекрытия боковых поверхностей проводника стенками башмака.

Ключевые слова: жесткая армировка, шахтный ствол, коробчатый проводник, сварной шов, радиус закругления проводника, динамический прогиб проводника.

Проблема обеспечения безопасности движения подъемных сосудов в жесткой армировке приобретает особую актуальность с ростом срока эксплуатации стволов, искривления их осей под влиянием горно-геологических и горнотехнических условий, увеличения степени износа ствольного оборудования при сохранении достаточно высоких требований к производительности подъема.

В этих условиях достоверное определение амплитудно-частотных и деформационных параметров взаимодействия динамических звеньев систем «сосуд-

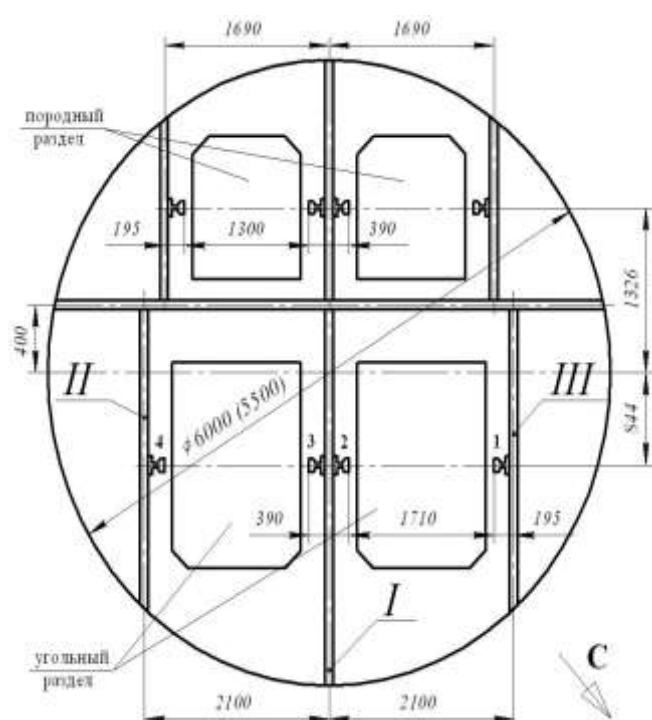
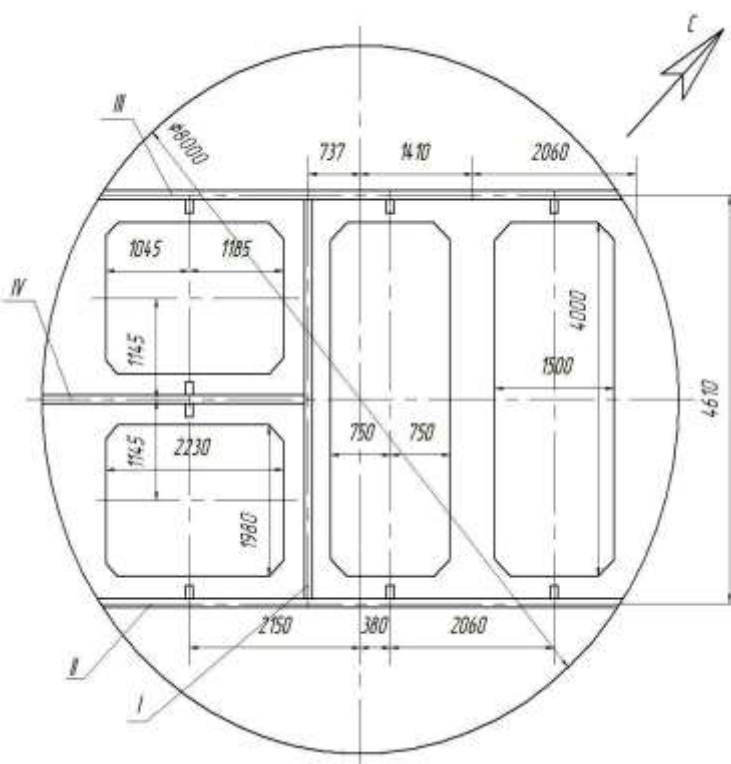
армировка» является определяющим требованием и диктует выбор средств и методов для решения этой задачи. Проблемами в этой области занимались многие зарубежные авторы [1, 2, 3]. Их решения были основаны на аналитическом моделировании собственных колебаний подъемных сосудов исходя из упрощенных моделей их конструкций. Конечно-элементное моделирование динамических процессов в системе является наиболее универсальным и эффективным в современных условиях.

Армировка, как известно, служит для обеспечения направленного движения подъемных сосудов при заданных режимах работы подъемной установки и крепления различных коммуникаций в стволе. Конструктивно жесткая армировка представляет собой пространственную стержневую систему, состоящую из горизонтальных балок (расстрелов) и закрепленных на них вертикально расположенных проводников. Проводники, по которым осуществляется вертикальное перемещение подъемных сосудов, представляют собой непрерывные нити, состоящие из отдельных звеньев, соединенных между собой. Рассмотрим некоторые типовые схемы армировок современных отечественных угледобывающих предприятий (таблица 1). В той же таблице представлены конструкционные материалы, примененные в конкретных схемах армировок.

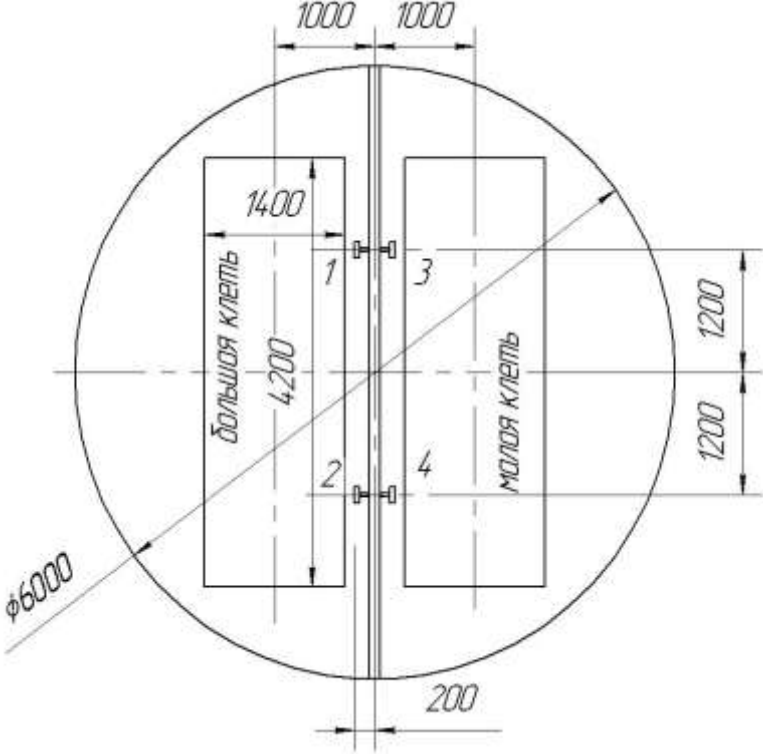
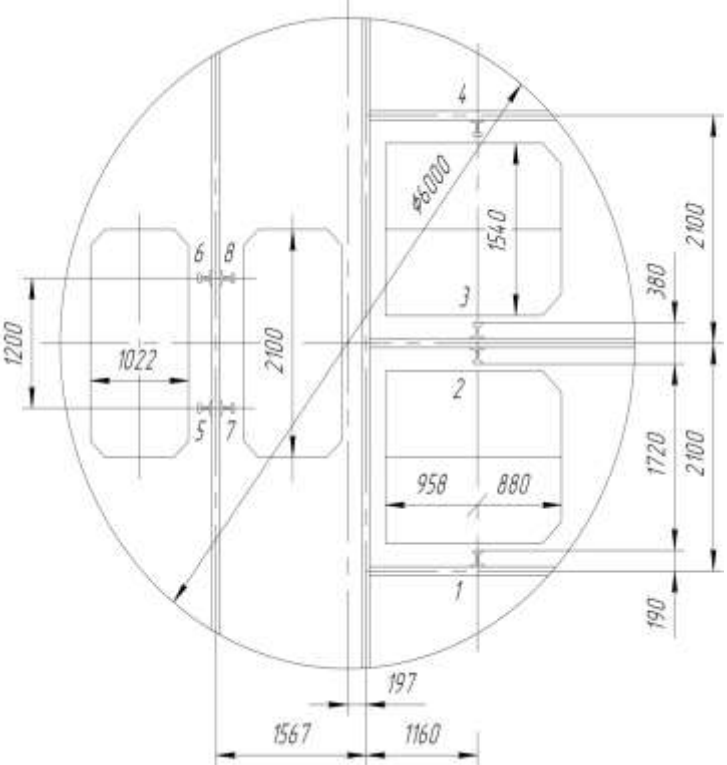
Таблица 1 - Схемы расчета армировки с жесткими проводниками

| № схемы | Наименование ствола, наименование шахты, сечение | Типоразмер расстрелов | Шаг армировки, м | Типоразмер проводников |
|---------|---|-------------------------------------|------------------|------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | <p>Скиповый ствол, ОП Шахта «Чайкино» ГП «Макеевуголь»</p>  | Двухавровые балки № 27 ГОСТ 8239-72 | 4,168 | Рельс Р43 |

Продолжение табл. 1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|--------------|----------------------------|
| 2 | <p style="text-align: center;">Скиповый ствол, ОП «Шахта «Бутовская» ГП «Макеевуголь»</p>  | <p>Двутавровые балки №27а (коренные) и №20а (боковые) по ОСТ 10016-39</p> | <p>4,168</p> | <p>Рельс Р43</p> |
| 3 | <p style="text-align: center;">Скипо-клетевой ствол, шахта «Заря» ГП «Снежноантрацит»</p>  | <p>Г, II, III-двутавр №40 ГОСТ8239-72, IV - двутавр №27в ОСТ 10016-39</p> | <p>3,0</p> | <p>Короб 160x160x12 мм</p> |

Продолжение табл. 1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|-------------------------------------|-------|-----------|
| 4 | <p style="text-align: center;">Воздухоподающий клетевой вствол (ВЗП), шахта им. Челюскинцев ГП «ДУЭК»</p>  | Двугавр №36 ОСТ 10016-39 | 4,168 | Рельс Р43 |
| 5 | <p style="text-align: center;">Скипо-клетевой ствол, шахта «Южная» ГП «Дзержинскуголь»</p>  | Двугавр №36, №30в, №27в ОСТ10016-39 | 4,168 | Рельс Р38 |

Модальный анализ конструкций армировки.

В таблице 2 приведены твердотельные модели описанных выше схем армировки. В каждом случае, 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.

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

Каждый сосуд движется по одной или двум плоскостям армировки. Эти плоскости содержат решетчатую конструкцию, состоящую из горизонтальных расстрелов и вертикальных проводников. Проводники по расположению могут быть центральные одиночные (сх. 2 табл. 1), центральные спаренные (сх. 4 табл. 1), боковые двойные (сх. 1 табл. 1). 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 сх. 1 табл. 2 – это центральная плоскость II), тем ниже ее частота колебаний в лобовом направлении по сравнению с крайними плоскостями (сх. 1 табл. 2 это плоскости I и II).

Если плоскости армировки не связаны между собой, а концы расстрелов заделаны только в крепи (сх. 1 в табл. 2), то частоты колебаний такой системы выше, чем в такой, в которой все расстрелы связаны между собой (сх. 2, табл. 2). Чем больше точек закрепления расстрелов в крепи при помощи дополнительных «распорок» и чем меньше плоскость армировки, тем больше будет собственная частота колебаний (сх. 2, сх. 3 в табл. 2).

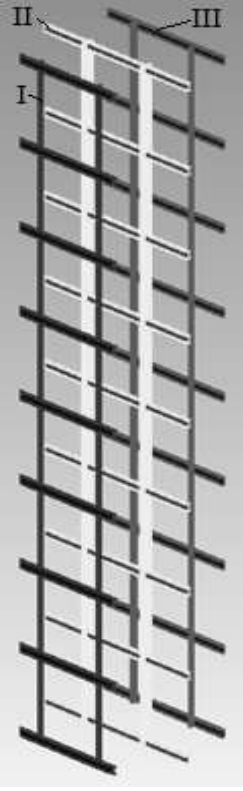
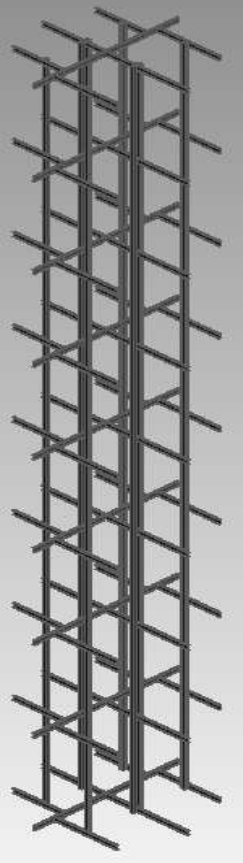
В лобовом направлении колеблется вся плоскость по высоте ствола, а в боковом только пролеты проводников, так как жесткость расстрела на сжатие намного больше, чем на изгиб и кручение.

Самая низкая (меньшая) частота у плоскости с двумя по бокам разнесенными проводниками при заделке расстрелов в крепь (сх. 1 табл. 2 плоскость II).

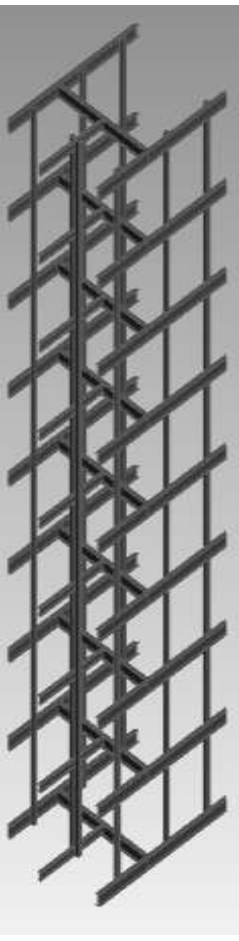
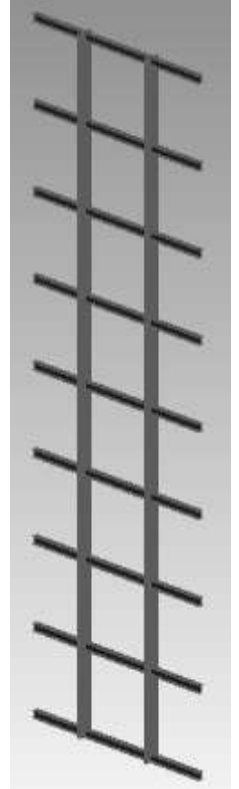
Основные типы и параметры скипов, применяемых на отечественных угледобывающих предприятиях.

По назначению скипы подразделяются на угольные, рудные и породные, которые конструктивно идентичны, но отличаются между собой габаритами. Способ разгрузки скипа определяет разделение скипов на три группы: скипы с неподвижным кузовом, с отклоняющимся кузовом и опрокидные. Две последние группы в настоящее время практически не применяются и здесь не рассматриваются.

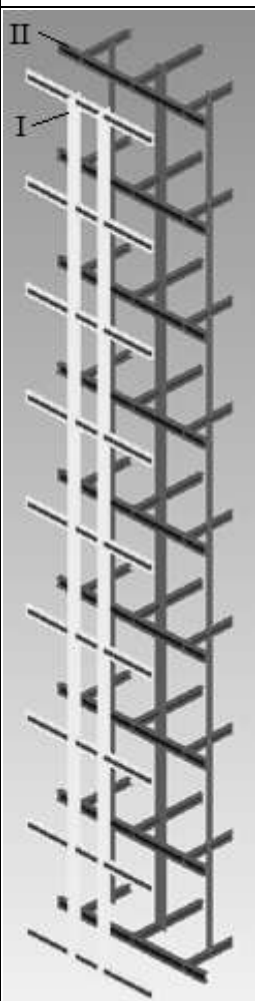
Таблица 2 - Твердотельные модели схем и результаты расчета в ANSYS

| № схемы | Название ствола, шахты | Вид твердотельной модели в ANSYS | № отдельного элемента (расчета) | № п/п | Частота, Гц | Деформация, мм |
|---------|---|---|---------------------------------|-------|-------------|----------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | Скиповый ствол, ОП Шахта «Чайкино» ГП «Макеевуголь» |  | I | 1 | 26,196 | 1,24 |
| | | | | 2 | 26,279 | 0,99 |
| | | | | 3 | 26,319 | 1,15 |
| | | | | 4 | 26,427 | 1,20 |
| | | | | 5 | 26,674 | 1,03 |
| | | | II | 1 | 6,986 | 0,63 |
| | | | | 2 | 7,384 | 0,58 |
| | | | | 3 | 8,174 | 0,71 |
| | | | | 4 | 9,466 | 0,87 |
| | | | | 5 | 11,465 | 0,87 |
| | | | III | 1 | 15,541 | 0,89 |
| | | | | 2 | 15,612 | 0,98 |
| | | | | 3 | 15,849 | 1,03 |
| | | | | 4 | 16,327 | 0,95 |
| | | | | 5 | 17,097 | 0,91 |
| 2 | Скиповый ствол, ОП «Шахта «Бутовская» ГП «Макеевуголь» |  | I | 1 | 11,076 | 0,63 |
| | | | | 2 | 11,469 | 0,68 |
| | | | | 3 | 12,530 | 0,67 |
| | | | | 4 | 14,122 | 0,74 |
| | | | | 5 | 16,364 | 0,85 |

Продолжение табл. 2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|---|---|---|---|---------|------|
| 3 | Скипо-клетевой ствол, шахта «Заря» ГП «Снежноантрацит» |  | I | 1 | 8,6330 | 0,37 |
| | | | | 2 | 9,2015 | 0,41 |
| | | | | 3 | 10,3850 | 0,48 |
| | | | | 4 | 12,3540 | 0,51 |
| | | | | 5 | 15,0660 | 0,49 |
| 4 | Воздухоподающий клетевой вствол (ВЗП), шахта им. Челюскинцев ГП «ДУЭК» |  | I | 1 | 7,167 | 0,63 |
| | | | | 2 | 7,556 | 0,59 |
| | | | | 3 | 8,332 | 0,68 |
| | | | | 4 | 9,636 | 0,85 |
| | | | | 5 | 11,620 | 0,89 |

Продолжение табл. 2

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|--|--|----|---|-------|------|
| 5 | Скипо-клетевой ствол, шахта «Южная» ГП «Дзержинскуголь» |  | I | 1 | 7,42 | 0,56 |
| | | | | 2 | 7,81 | 0,54 |
| | | | | 3 | 8,65 | 0,57 |
| | | | | 4 | 10,00 | 0,73 |
| | | | | 5 | 12,00 | 0,79 |
| | | | II | 1 | 18,99 | 0,93 |
| | | | | 2 | 19,16 | 0,94 |
| | | | | 3 | 19,84 | 0,79 |
| | | | | 4 | 21,00 | 0,85 |
| | | | | 5 | 22,93 | 0,81 |

Типоразмеры скипов, получившие наибольшее распространение на угольных шахтах: СН4-170-1,8; СН5-185-1,8 двух исполнений; СН7-185-1,8 двух исполнений; СН9,5-185-1,1 двух исполнений; СН11-185-1,8 двух исполнений; СН11-185-1,1 двух исполнений; СН15-223-1,1 двух исполнений. Структура условного обозначения скипов серии СН xx - xxx - xx - xx : «С» — скип «Н» — неподвижный кузов; « xx » — вместимость кузова, м³; « xxx » — ширина кузова в плане, см; « xx » — насыпная масса груза; « xx » — исполнение скипа. Структура условного обозначения скипов для многоканатного подъема в отличие от скипов предназначенных для одноканатного подъема серии СН - содержит букву «М», что означает принадлежность его к многоканатному подъему (СНМ).

Разгрузка скипов с неподвижным кузовом осуществляется посредством специальных затворов - секторных, клапанных, шиберных. Механизм затвора, независимо от его типа, приводится в действие от специальных стационарно установленных в копре ствола разгрузочных профилированных кривых, с которыми взаимодействуют разгрузочные ролики на секторном затворе, в результате чего при движении скипа вверх затвор открывается, и груз по наклонному днищу кузова высыпается в приемный бункер. При обратном движении скипа

(вниз) затвор аналогичным образом закрывается.

В месте расположения секторного затвора боковые стенки кузова имеют небольшой скос, т. е. изогнуты таким образом, что между ними и рамой имеется зазор. В этом зазоре размещаются боковые стенки секторного затвора. Ось вращения последнего укреплена на наклонном днище кузова.

Основными элементами скипа являются кузов 4 и рама, состоящая из верхней балки 1, нижней балки 2 и вертикальных стоек 3. Кузов, усиленный ребрами жесткости, представляет собой призматическую емкость с загрузочным порталом вверху и разгрузочным устройством внизу (в данном случае — это секторный затвор 6). Кузов жестко присоединен к раме, содержащей поперечную балку (рисунок 1. Вид А), к которой крепятся прицепные устройства головных канатов (для уравнивающих канатов, при их наличии, аналогичная балка располагается внизу, (она здесь не изображена). На вертикальных стойках так же располагаются направляющие устройства - вверху и внизу, и предохранительные башмаки (не показаны).

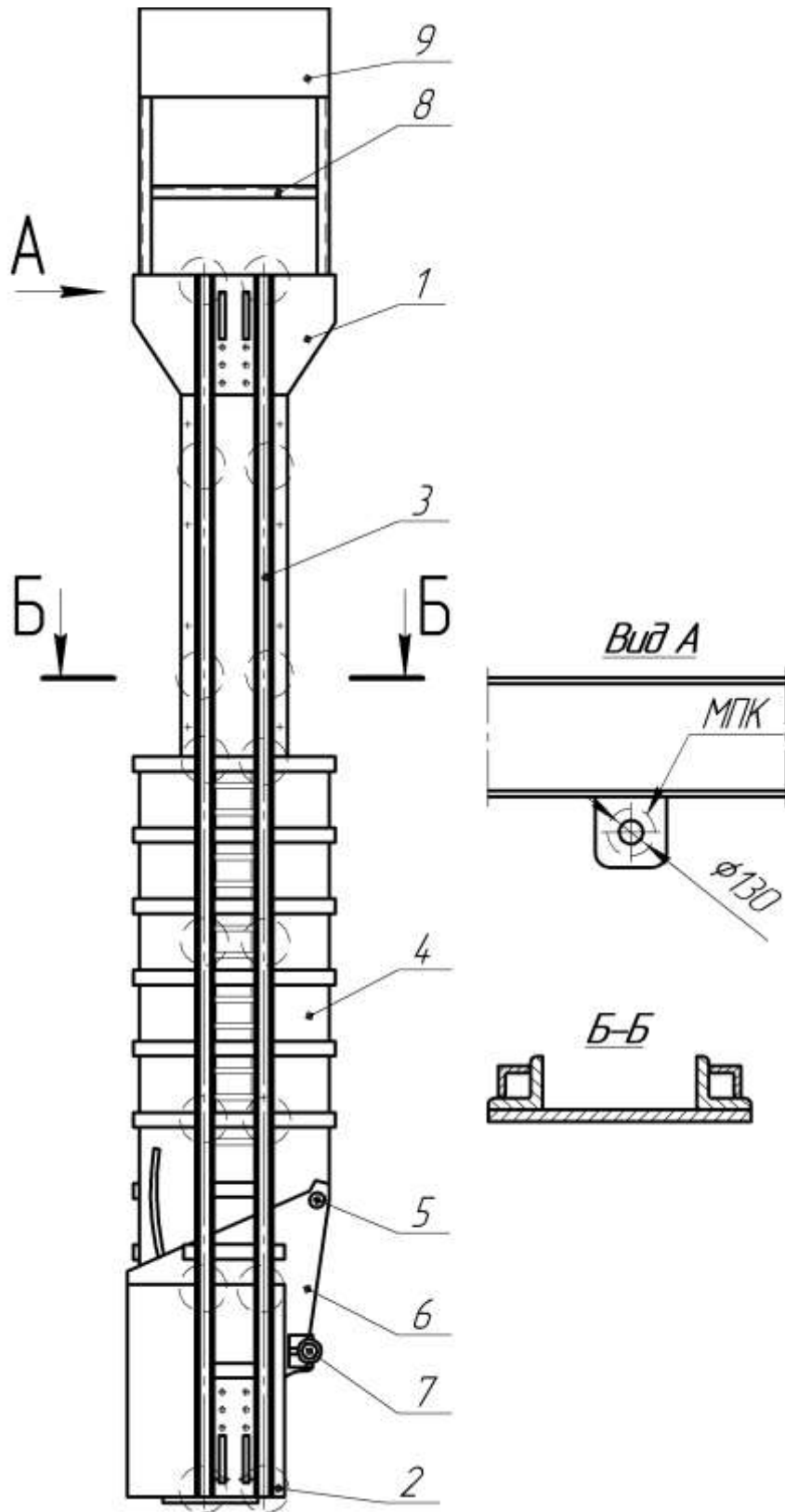
Основными параметрами скипов являются емкость кузова и жесткость скипа (лобовая и боковая).

В таблице 3 представлены результаты модального и жесткостного анализа в системе ANSYS для скипов наиболее распространенных на отечественных шахтах конструкций.

Модальный и жесткостной анализ конструкций скипов.

В таблице 3 приведены твердотельные модели описанных выше конструкций скипов. В каждом случае, в качестве граничных приняты условия жесткого закрепления рамы скипа в месте установки предохранительных башмаков (на схемах в табл. 3 видны выступы прямоугольной формы на левой стойке скипа в районе верхних и нижних горизонтальных балок). Скипы также как и в случае с армировкой моделируются упругими элементами металлопроката с параметрами сечений и размерами, заданными в паспортах скипов. Соединение всех конструктивных элементов скипа - жесткое.



Результаты расчета показывают, что во всех случаях частоты колебаний в лобовом направлении у рамы скипа в месте крепления кузова к раме самые низкие (первая частота для всех скипов в табл. 3). Вращательное движение кузова скипа вокруг своей вертикальной оси характеризует боковое направление колебаний (вторая частота в табл. 3). Третья частота в табл. 3, так же для всех скипов, соответствует строго лобовому направлению колебаний с центром в месте крепления кузова скипа к раме. Оставшиеся две частоты в таб. 3 относятся к лобовому направлению колебаний, выше места крепления кузова скипа к стойкам и ниже соответственно. Чем выше рама скипа (чем больше длинна стоек), тем ниже частоты колебаний по сравнению с «маленькими» скипами (для сравнения сх.1 и сх.2 в табл.3).



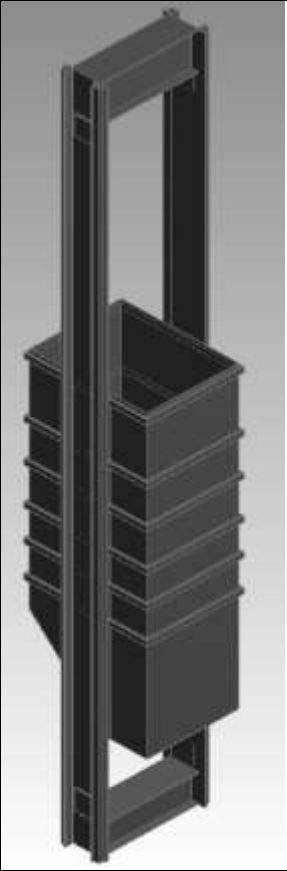

1 – верхня балка; 2 – нижня балка; 3 – вертикальна стойка; 4 – кузов;
 5 – ось секторного затвора; 6 – секторный затвор; 7 – ролик секторного затвора;
 8 – ограджающее устройство; 9 – предохранительный зонт.

Рисунок 1 – Схема скипа с секторным затвором

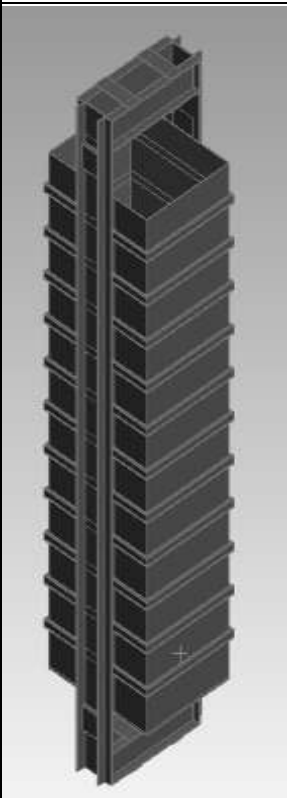
Таблица 3 - Твердотельные модели скипов и результаты расчета

| № схемы | Обозначение типоразмера скипа | Вид твердотельной модели в ANSYS | Емкость кузова скипа, м ³ | Габаритные размеры, мм (длина/ширина/высота) | Модальный анализ | | | Жесткость скипа, кН/м | |
|------------|----------------------------------|---|---|---|---------------------|-------------|----------------|--------------------------|------|
| | | | | | № п/п | Частота, Гц | Деформация, мм | бок | лоб |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | СН 5-185-1,8 |  | 5 | 1850/ 1790/ 7300 | 1 | 10,59 | 24,8 | 2564 | 1265 |
| | | | | | 2 | 36,50 | 40,1 | | |
| | | | | | 3 | 47,70 | 33,2 | | |
| | | | | | 4 | 58,00 | 61,3 | | |
| | | | | | 5 | 68,54 | 62,6 | | |
| 2 | СН 7-185-1,1 |  | 7 | 1850/ 1790/ 8150 | 1 | 6,28 | 20,2 | 1324 | 653 |
| | | | | | 2 | 26,55 | 32,2 | | |
| | | | | | 3 | 37,21 | 37,2 | | |
| | | | | | 4 | 40,73 | 40,7 | | |
| | | | | | 5 | 51,69 | 45,4 | | |

Продолжение табл. 3

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|----------------|---|----|------------------|---|-------|------|------|------|
| 3 | CHM 11-185-1,8 |  | 11 | 1850/ 1790/ 9800 | 1 | 6,41 | 16,9 | 1026 | 1000 |
| | | | | | 2 | 23,48 | 26,2 | | |
| | | | | | 3 | 28,77 | 20,5 | | |
| | | | | | 4 | 33,84 | 42,5 | | |
| | | | | | 5 | 40,28 | 29,5 | | |
| 4 | CH 15-223-1,1 |  | 15 | 2230/ 1990/ 9800 | 1 | 5,74 | 15,9 | 1203 | 1039 |
| | | | | | 2 | 17,31 | 26,4 | | |
| | | | | | 3 | 27,42 | 19,6 | | |
| | | | | | 4 | 30,28 | 30,8 | | |
| | | | | | 5 | 40,54 | 25,8 | | |

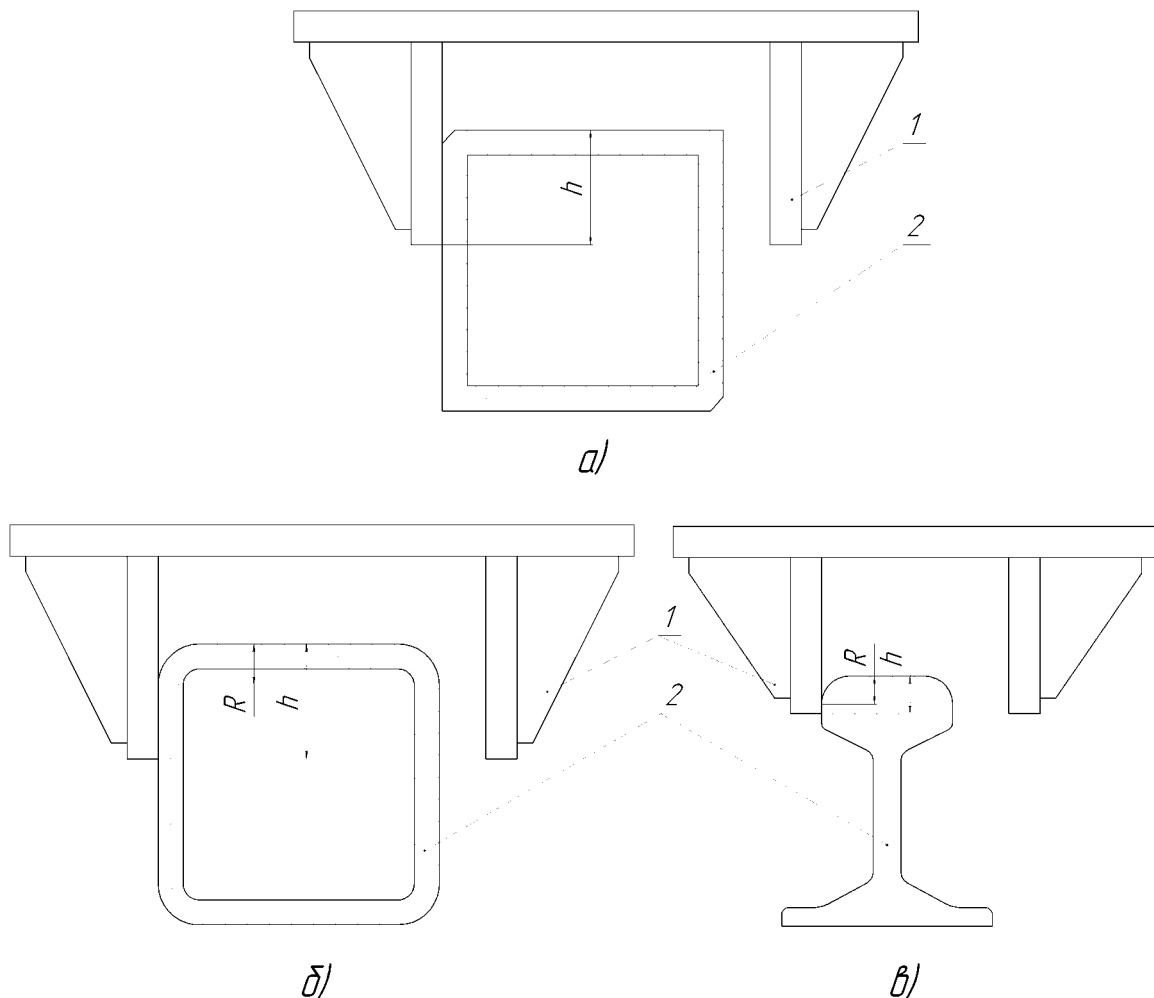
Продолжение табл. 3

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---------|--|------|---------------|---|-------|------|-------|------|
| 5 | СН-19,5 |  | 19,5 | Скип для руды | 1 | 21,88 | 17,1 | 11800 | 3674 |
| | | | | | 2 | 39,58 | 23,6 | | |
| | | | | | 3 | 46,0 | 26,5 | | |
| | | | | | 4 | 58,15 | 29,1 | | |
| | | | | | 5 | 59,47 | 29,3 | | |

Скипы, представленные на сх. 3 и сх. 4 в табл. 3, имеют одинаковую высоту, однако скип на сх. 3 выполнен для многоканатного подъема и имеет более усиленные верхнюю и нижнюю балки (выполненные из листа, а на сх. 4 балки выполнены из швеллера), а также стойки усилены дополнительным уголком (как и на сх.4, на сечении Б-Б рис.1 показаны дополнительные уголки меньшего сечения, чем основные), только большего типоразмера, чем на сх.4. За счет более широкой рамы и менее усиленных стоек и балок скип на сх. 3 имеет более высокие частоты, чем скип на сх.4 табл.3.

Анализ минимально допустимого перекрытия проводников боковыми гранями башмака

Положение сосуда в стволе относительно проводников определяется рядом нормативных параметров прописанных в ПБ (ЕПБ) (минимальный зазор между крайними выступающими частями скипа и армировкой, суммарный зазор между трущимися поверхностями башмака и проводника и т.д.) [5]. Однако, при двухстороннем расположении проводников (башмаки применяются открытого типа) все проводники жесткой армировки, будь-то рельс или короб (рис. 2б, рис. 2в), имеют скругленные углы (радиусом $R=20-30$ мм), либо так называемую «фаску» на двух из четырех граней проводника (если проводник коробчатого сечения изготовлен из уголка, рис. 2а), что может привести к выходу сосуда из зацепления, если заход башмака на проводник (перекрытие) недостаточен [6, 7]. Такого норматива нет в действующих нормативных документах.



1 – направляющее устройство сосуда (башмак); 2 – проводник;
 R – радиус закругления ребер проводника; h – перекрытие проводника башмаком;

Рисунок 2 - Схема взаимодействия башмаков открытого типа с проводниками, имеющими скругленные ребра

Данная ситуация вызывает необходимость проведения исследований влияния параметров формы поперечного сечения проводника на величину минимально допустимого перекрытия боковыми гранями башмаков боковых плоскостей проводника по критерию невыхода подъемного сосуда из зацепления в зависимости от действующих динамических нагрузок.

Исследования проведем на примере системы «сосуд-армировка» со скипом типа СН 7-185-1,1, движущегося по проводникам жесткой армировки коробчатого сечения 180x180x16 мм с радиусом закругления ребер 26 мм, глубина зева башмака 110 мм, расстрелы – двутавровые балки № 30, шаг армировки 4168 мм.

Прежде всего, необходимо определить какой из башмаков подъемного сосуда при колебаниях в боковой плоскости является наиболее нагруженным и находится в ситуации наиболее вероятного выхода из зацепления для конкретной системы «сосуд-армировка» считая, что равнодействующая сил инерции сосуда в боковом направлении плоскости проводников приложена в его центре

масс.

Решение задачи проведем методом конечно-элементного моделирования. Расчетная схема и твердотельная модель системы показаны на рис. 3.

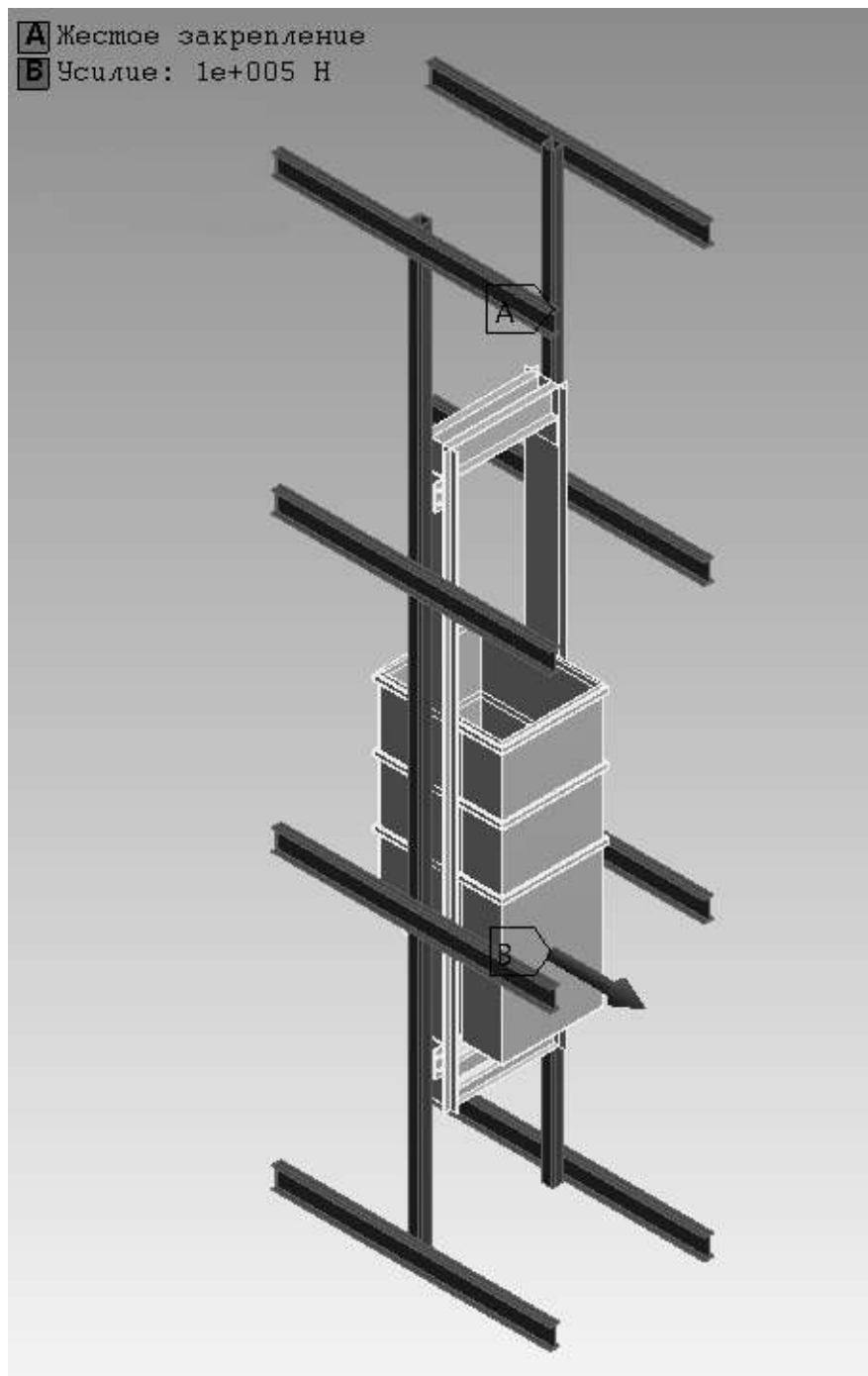
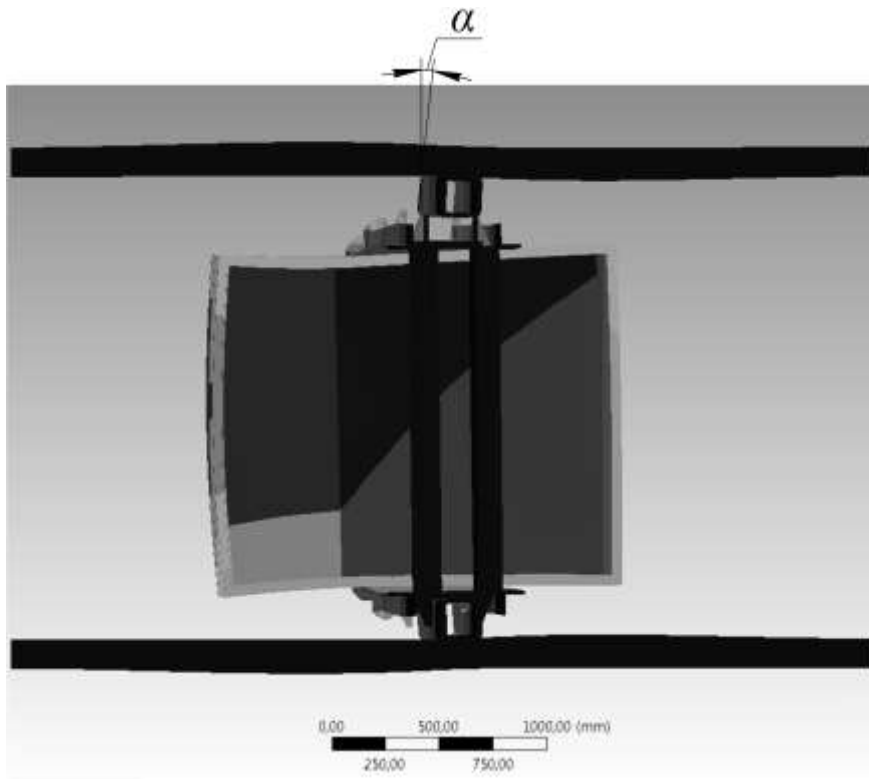


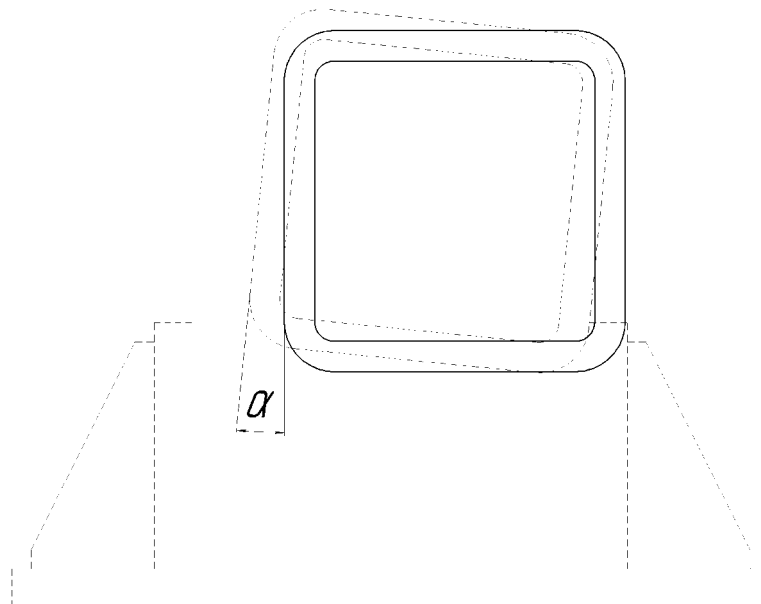
Рисунок 3 - Расчетная схема и твердотельная модель системы «скип – башмаки - проводники»

Полученные результаты показали, что наиболее нагруженным узлом (~ 37 % от суммарной нагрузки на все башмаки) является район нижнего «соскальзывающего» башмака, так как размер перекрытия проводника этим башмаком является наименьшим, а центр масс груза смещен к нижнему поясу. В

последующем расчете по определению максимально допустимой боковой нагрузки и минимально допустимого перекрытия башмаком проводника по критерию выхода из зацепления усилие будет прикладываться в вышеуказанный башмак. Расчетная схема системы (вид сверху) приведена на рисунке 4.



а)



б)

а) – твердотельная модель; б) – кинематическая схема деформирования проводника

Рисунок 4 - Расчетная схема (вид сверху) для определения минимально допустимой величины перекрытия проводника башмаком

На рис. 5 показана расчетная схема (косоугольная проекция) системы «башмак-проводник» из рис. 4 в положении полного прижатия сосуда к правому проводнику.

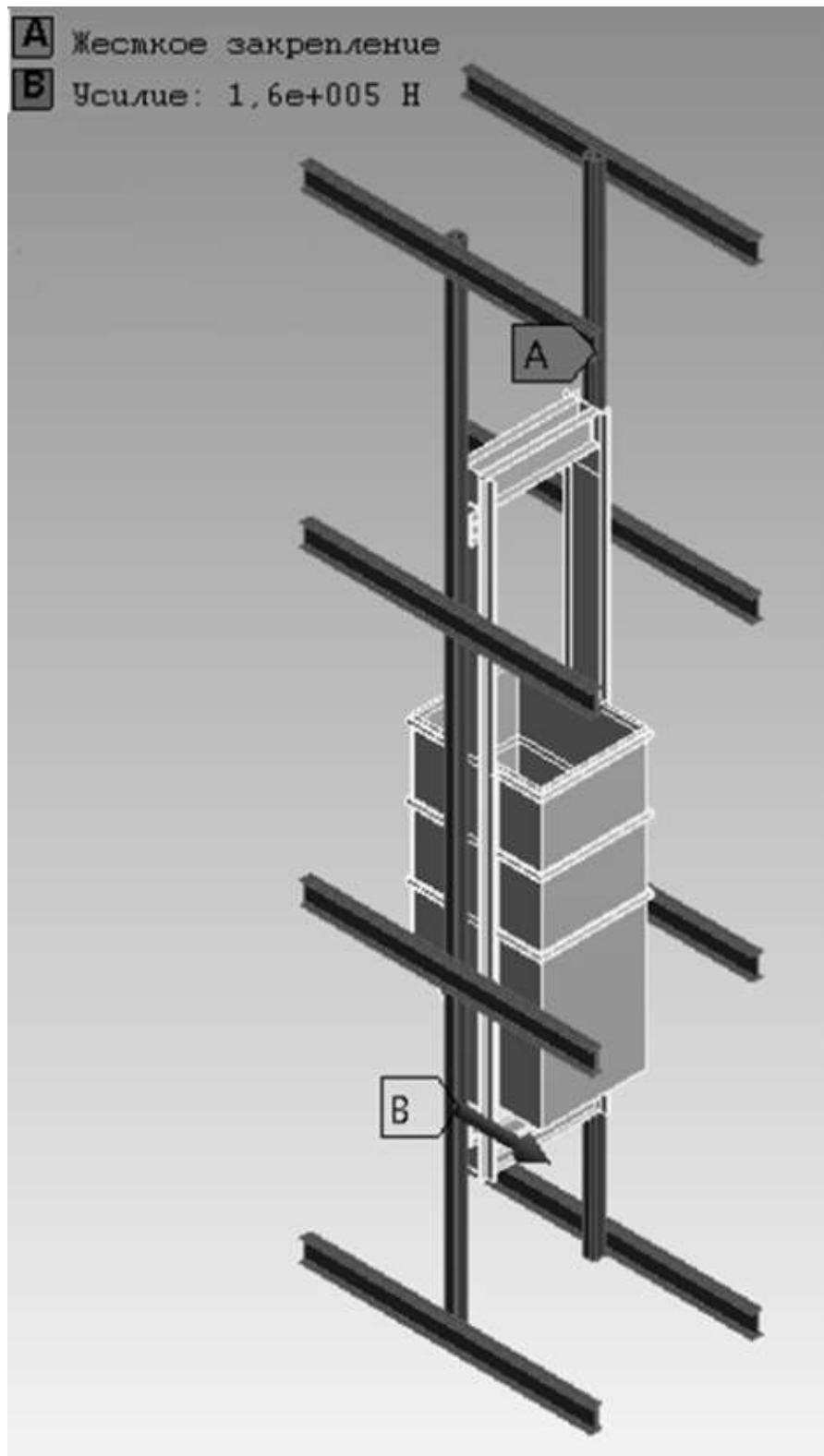


Рисунок 5 - Расчетная схема по определению минимальной величины перекрытия проводника башмаком

На рис. 6 показан характер деформаций армировки и сосуда под действием приложенной силы 160 кН в масштабе 30/1.

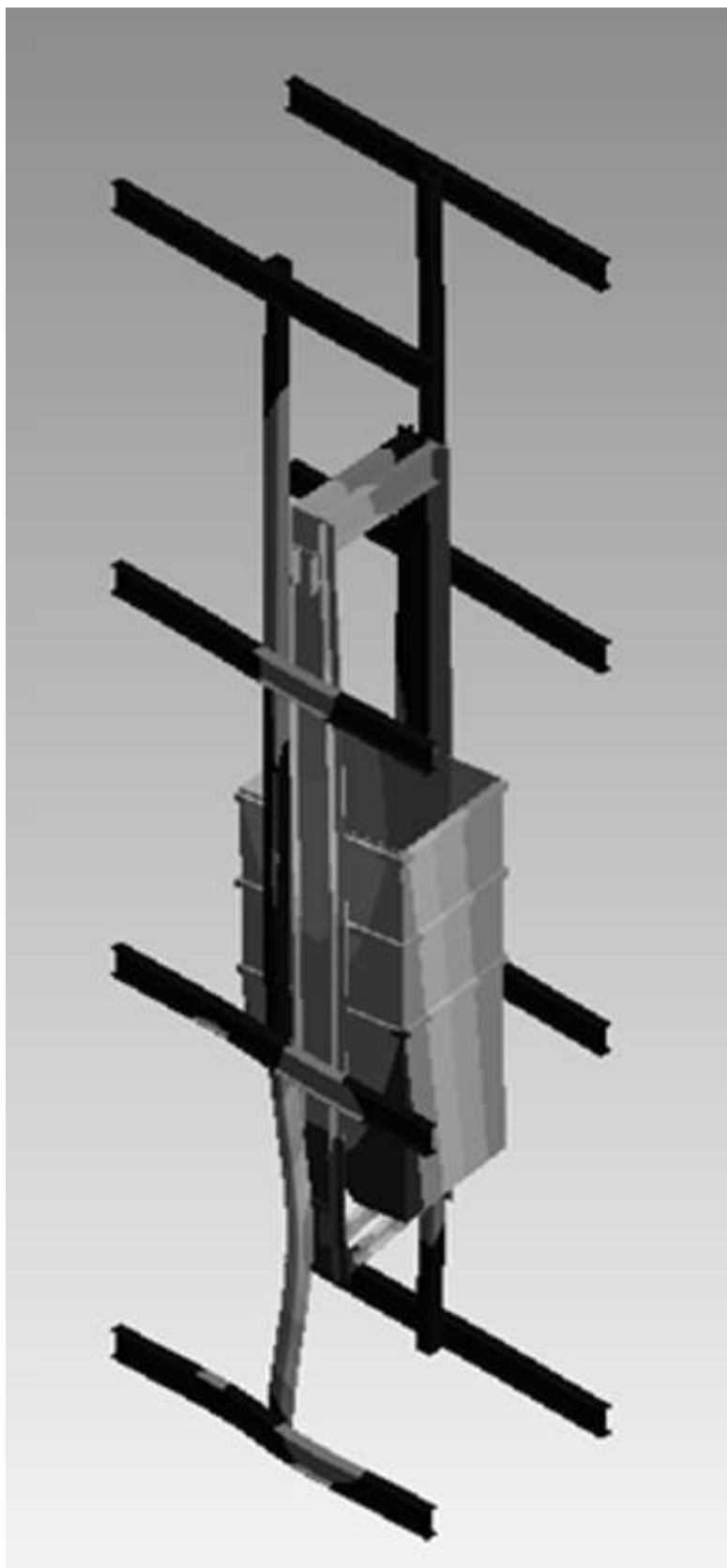


Рисунок 6 - Деформации армировки и сосуда под действием боковой силы 160 кН в масштабе 30/1

Расчет деформаций скипа и армировки показал, что на верхнем башмаке в лобовом направлении так же происходит значительное отклонение проводника (3 мм). Это говорит о том, что в данном случае велика вероятность выхода из колеи также и верхнего башмака.

На рис. 7 показана система «башмак-проводник» в деформированном состоянии предельного зацепления перед выходом сосуда из колеи в пролете между ярусами.

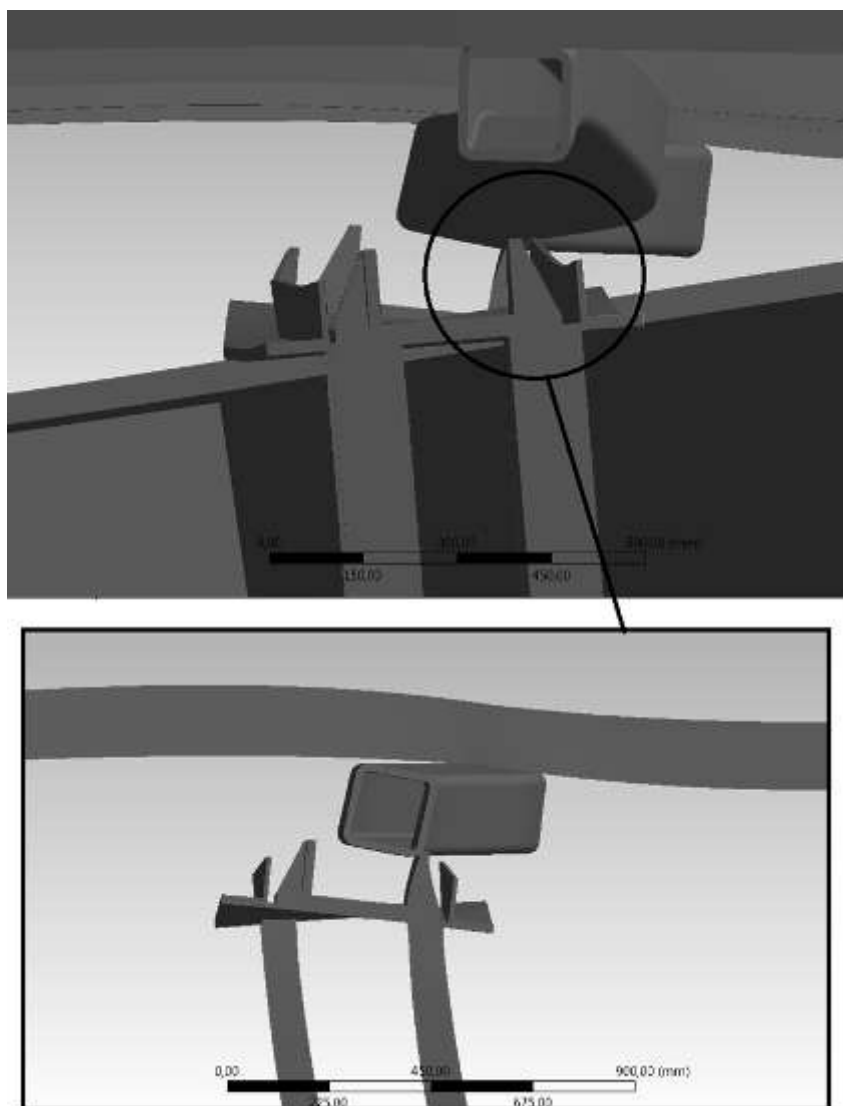


Рисунок 7 - Система «башмак-проводник» в состоянии предельного зацепления

Видно, что проводник получил значительный изгиб в боковой плоскости и поворот вокруг вертикальной оси.

На графике рис. 8 показана зависимость между боковым усилием в паре «башмак - проводник» и размером перекрытия проводника башмаком в предельном состоянии выскальзывания башмака. Область зацепления плоских граней башмаков с проводниками (h-R) обозначена серым цветом. Полученные результаты показывают, что в рассмотренной системе «сосуд-армировка» для ис-

ключения возможности выскальзывания башмака из колеи минимальный заход башмака на проводник (перекрытие) должен быть не меньше суммы радиуса закругления граней проводника и области зацепления, размер которой зависит от величины фактической боковой динамической нагрузки (граница области серого цвета).

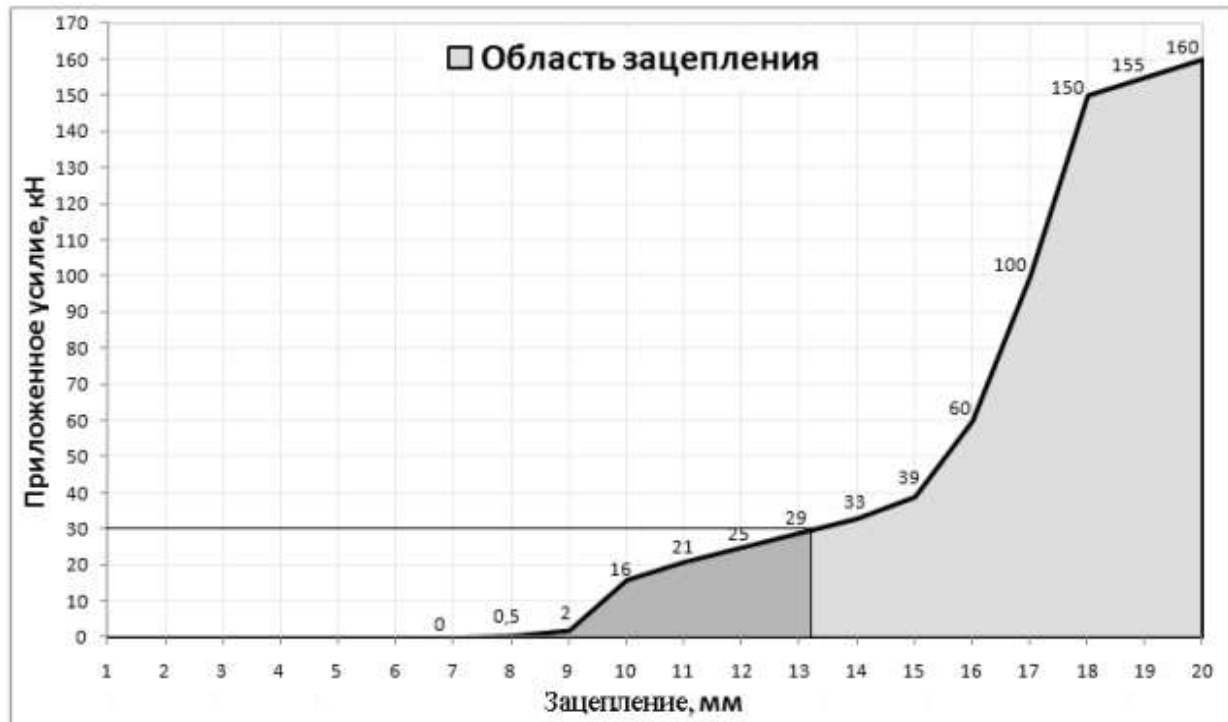


Рисунок 8 - График, определяющий зависимость между боковой нагрузкой и минимально допустимым зацеплением башмаком проводника по критерию выхода из зацепления

Для режимов взаимодействия с нагрузками до 25 кН область необходимого зацепления лежит выше 10 мм и должна быть не менее 12 мм (минимально допустимая величина перекрытия равна 26 мм + 12 мм = 39 мм). Для нагрузок до 40 кН область зацепления должна быть не менее 15 мм (минимально допустимая величина перекрытия равна 26 мм + 15 мм = 41 мм).

При максимальном приложенном в расчете боковом усилии 160 кН, максимальное перемещение проводника в боковом направлении составило 11,1 мм, максимальное перемещение проводника в лобовом направлении составило 3,05 мм, а угол поворота проводника относительно своей оси (рис. 4) $\alpha = 0^{\circ}25'54''$.

Из графиков на рис. 9,10 видно, что процесс «выскальзывания» башмака из колеи проводников под действием бокового усилия вызывает так же дополнительный лобовой прогиб и уширение колеи. Величина этого прогиба незначительная по сравнению с общим уширением колеи за счет искривлений проводников и лобовых динамических нагрузок. Для рабочего диапазона боковых нагрузок она не превышает 1,5 мм...2,5мм. В то же время боковой прогиб проводника превышает лобовой до 3-х раз. За счет этого и создаются геометриче-

ские условия размыкания силовой связи башмака с проводником.

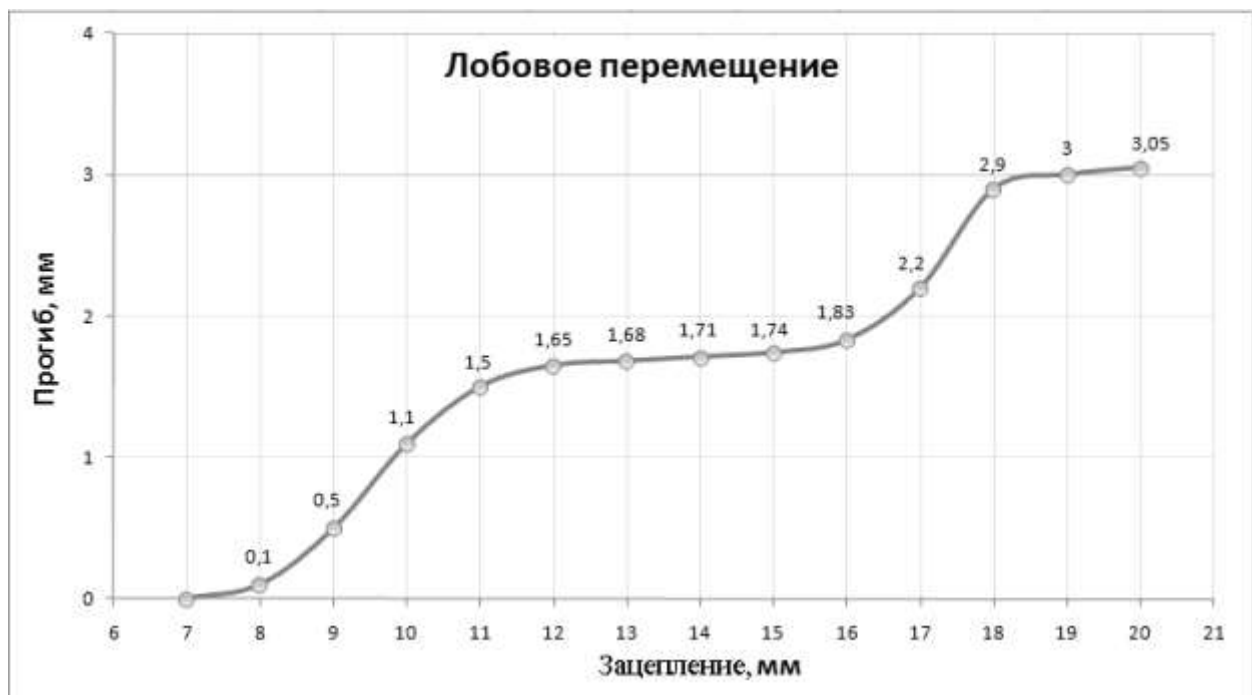


Рисунок 9 - График зависимости лобового прогиба проводника в состоянии соскальзывания от первоначального перекрытия при силе из графика рис. 8 для каждой величины перекрытия

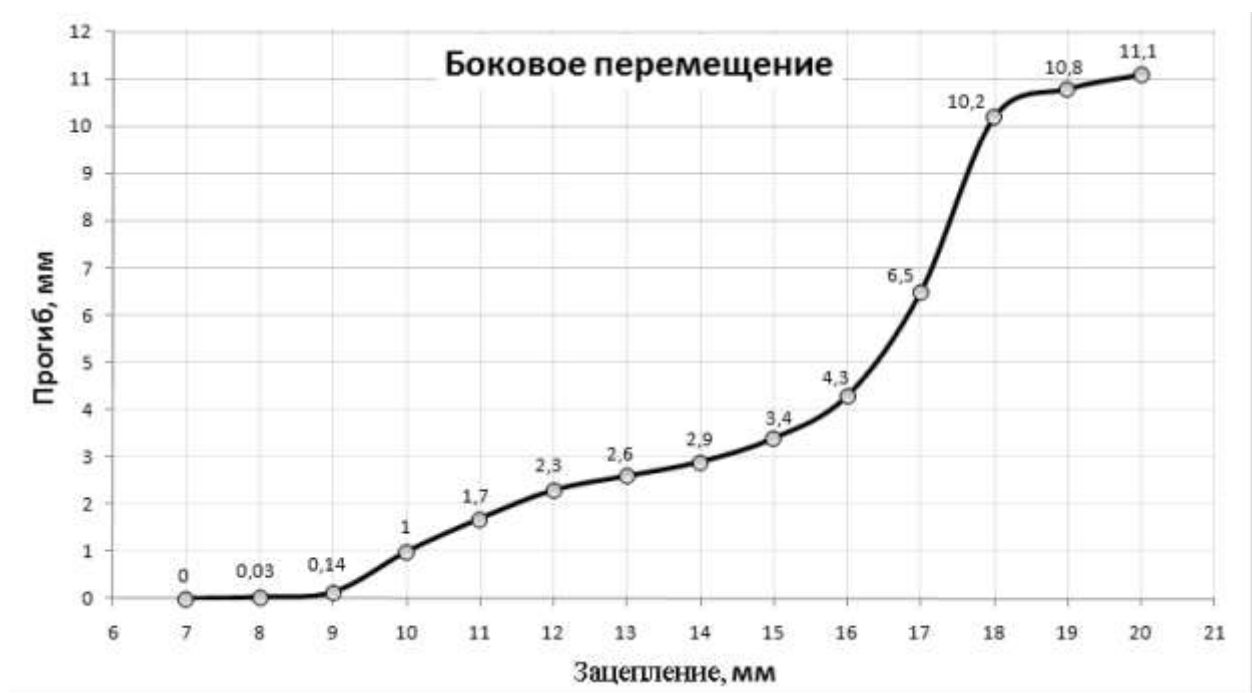


Рисунок 10 - График зависимости бокового прогиба проводника в состоянии соскальзывания от первоначального зацепления при силе из графика рис. 8 для каждой величины перекрытия

Как показали проводимые авторами специализированные обследования стволов, достаточно часто встречаются случаи, когда инструментальными съемками профиля проводников станцией СИ-4 регистрируются существенные нарушения вертикальности профиля проводников с отклонениями проводников на смежных ярусах превышающих требования нормативных документов, а также регистрируются «знакопеременные смещения центра колеи» от оси движения сосудов [8 9], при этом сосуд совершает пространственные колебания в горизонтальной плоскости и повороты вокруг своих горизонтальных и вертикальной осей инерции. В зависимости от изменения этих параметров по глубине ствола колебания сосуда носят ударно-циклический характер, создавая потенциальную опасность для прочности армировки и вызывая увеличение риска выхода башмаков из колеи.

Согласно действующей нормативной документации на стадии эксплуатации допускается сужение колеи на -8 мм и уширение на $+24$ мм и динамического прогиба проводника $+45$ мм. Однако, фактическое состояние взаимного расположения проводников в горизонтальной и вертикальной плоскостях, применение проводников со скругленными ребрами, эксплуатация с завышенными лобовыми зазорами, высокий уровень динамических горизонтальных нагрузок диктует необходимость более точного учета величины динамического изгиба проводников и уширения колеи, вызванного пространственным искривлением проводников.

При ударно-циклическом взаимодействии сосуда с проводниками параметр, который отвечает за возможность выхода башмаков из зацепления можно назвать «динамической шириной колеи». Он равен сумме статической ширины колеи, которая определяется маркшейдерской съемкой станциями типа СИ-4 на момент обследования, и мгновенного значения лобового динамического прогиба проводника под действием эксплуатационной нагрузки, который является случайной величиной и меняется от цикла к циклу.

Для разработки математической модели, позволяющей определить и оценить фактические параметры зацепления башмаков с проводниками в промышленных условиях конкретного ствола, рассмотрим кинематическую схему на рис. 11. На чертеже все параметры имеют два значения: «статическое и динамическое» (на чертеже не выделены, кроме статической ширины колеи $L_{ст}$) и относятся к i -му ярусу армировки. Из рисунка видно, что справедливы следующие кинематические соотношения:

$$\begin{aligned} \delta_i^\partial &= Z - \Delta_i^\partial - R ; & h_i^\partial &= \delta_i^\partial + R ; & L_i^\partial &= L_i^{cm} + f_i^\partial ; \\ h_i^\partial &= Z - \Delta_i^\partial & \Delta_i^\partial &= \Delta_i^{cm} + f_i^\partial ; & Hc &= L_{cm} - \Delta_0^{cm} , \end{aligned} \quad (1)$$

где i – номер яруса армировки в стволе; δ_i^∂ - динамическое «зацепление» - параметр, равный величине области пересечения (перекрытия) плоских частей

поверхностей проводника и башмака; h_i^{δ} - «перекрытие», параметр, равный величине области пересечения боковой грани проводника и башмака (расстояние от лобовой поверхности проводника до наиболее удаленного ребра боковой стенки башмака); Z – величина зева башмака; R – радиус скругления ребер проводника; H_c - ширина сосуда на верхнем/нижнем поясе, на котором находится башмак с наибольшей степенью риска выхода из зацепления (расстояние между противоположными лобовыми гранями башмаков на том поясе, для которого проводится расчет зацепления); f_i^{δ} - мгновенный динамический прогиб проводника при лобовом ударе башмаком (параметр, определяемый путем деформационно-прочностных расчетов по результатам аппаратурных динамических испытаний и измерений износа элементов армировки); L_i^{cm} - статическая ширина колеи проводников (параметр, определяемый при маркшейдерской профилировке проводников); L_i^{δ} - динамическая ширина колеи (фактическая мгновенная ширина колеи при ударе с учетом динамического прогиба проводника); Δ_0^{cm} - статический суммарный лобовой кинематический зазор (Δ_0^{cm} определяется на 0-й отметке путем прямых измерений и по глубине ствола рассчитывается через ширину колеи и ширину подъемного сосуда на том поясе, для которого проводится расчет зацепления); Δ_i^{δ} - динамический суммарный лобовой кинематический зазор.

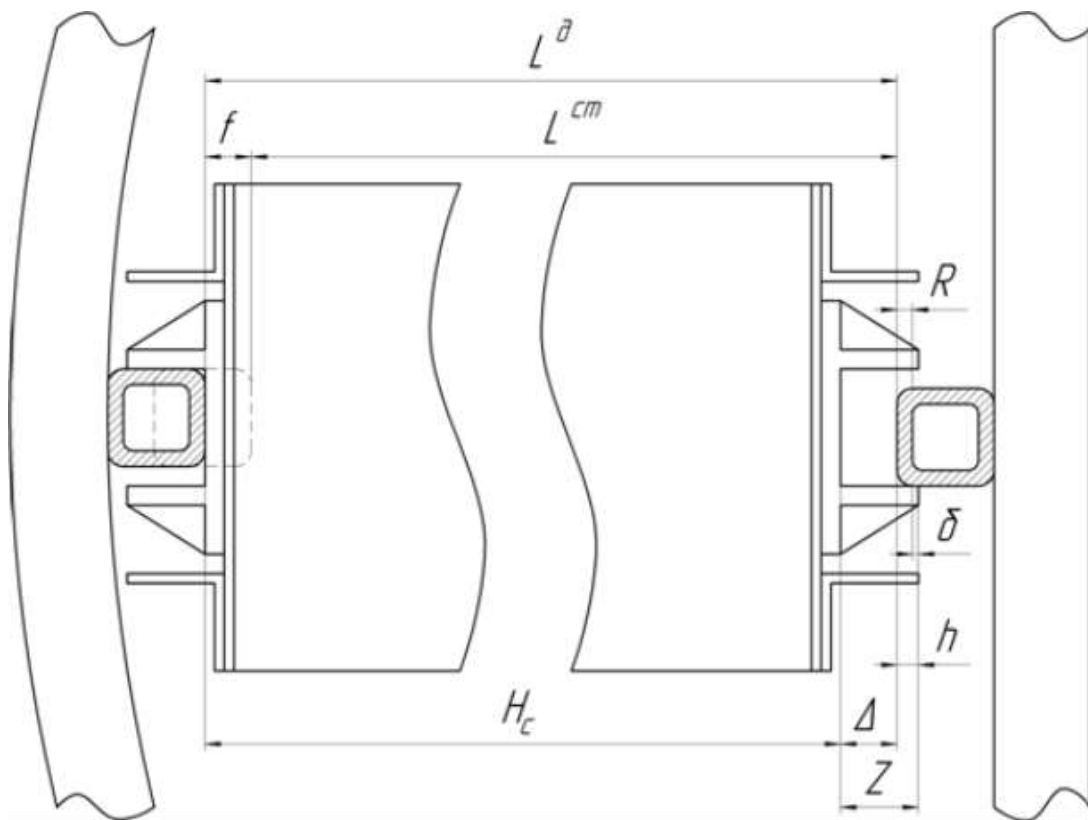


Рисунок 11 - Кинематическая схема взаимодействия башмаков с проводниками

После выполнения необходимых преобразований получим выражение для расчета поярусных значений динамического зацепления δ_i° для каждого из башмаков.

$$\delta_i^{\circ} = Z - R - f_i^{\circ} - L_i^{cm} + L_0^{cm} - \Delta_0^{cm} \quad (2)$$

Все параметры, входящие в правую часть, определяются путем аппаратурных измерений при специализированных обследованиях.

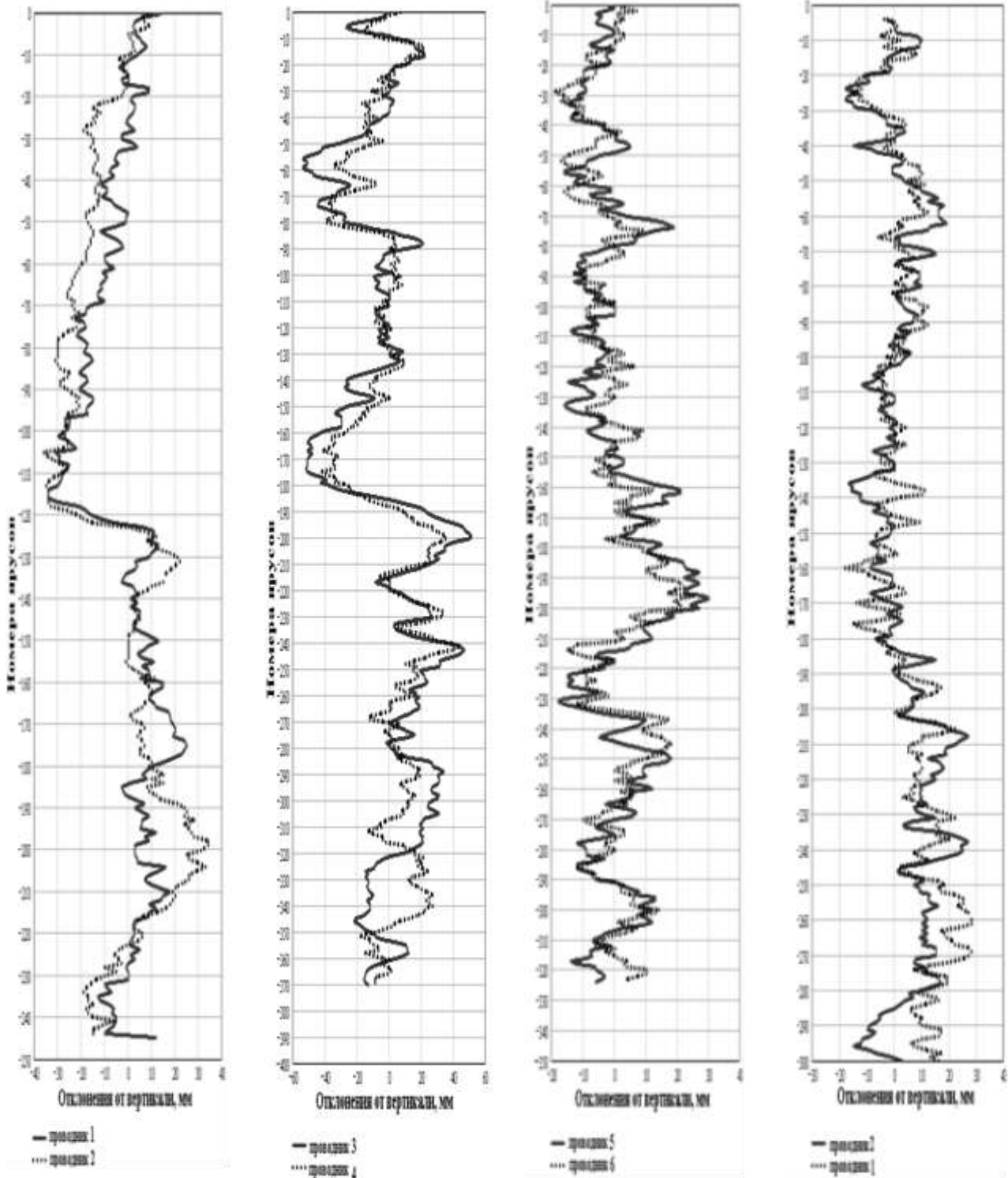
На рис. 12 приведены графики профилей проводников некоторых основных рудоподъемных стволов после 40-50 лет эксплуатации. Из них видно, что, не смотря на то, что стволы находятся в разных горно-геологических условиях, во всех случаях проводники имеют локальные участки, на которых абсолютные отклонения от вертикали на протяжении 3...5 или 7...10 ярусов имеют знакопеременный характер и достигают по амплитуде 40-60 мм и более.

На рис. 13 приведены сводные графики лобовых профилей пары проводников скипового отделения и динамических нагрузок на армировку в развертке по времени движения в цикле. Участки отклонений проводников в разные стороны соответствуют уширению колеи, одного знака – сужению. Видно, что пиковые значения нагрузок, как правило, приурочены к участкам проводников резкими изгибами на коротких участках на фоне плавной средней линии профиля.

Иллюстрацию применения приведенной методики анализа зацепления выполним на примере скипового отделения одного из рудоподъемных стволов. Исходные данные для расчета получены при проведении специализированного обследования ствола Лабораторией диагностики ШПУ ИГТМ НАН Украины в рамках работы специальной Комиссии анализа состояния стволов Госгорпромнадзора Украины (КАСС) (рис. 14).

Параметры системы «сосуд-армировка»: снаряженная масса скипа 40 т; номинальная ширина колеи: 1761 мм; глубина зева башмаков 90 мм; радиус скругления ребер проводников 30 мм. Лобовые кинематические зазоры на сторону на уровне базовой отметки до 26 мм.

Полученные результаты показывают, что при неизменном уровне динамических нагрузок (динамической ширины колеи) риск выхода сосуда из зацепления растет пропорционально лобовому износу вкладышей башмаков и проводников, который приводит к увеличению лобового суммарного зазора и уменьшению области перекрытия боковых поверхностей проводника стенками башмака.



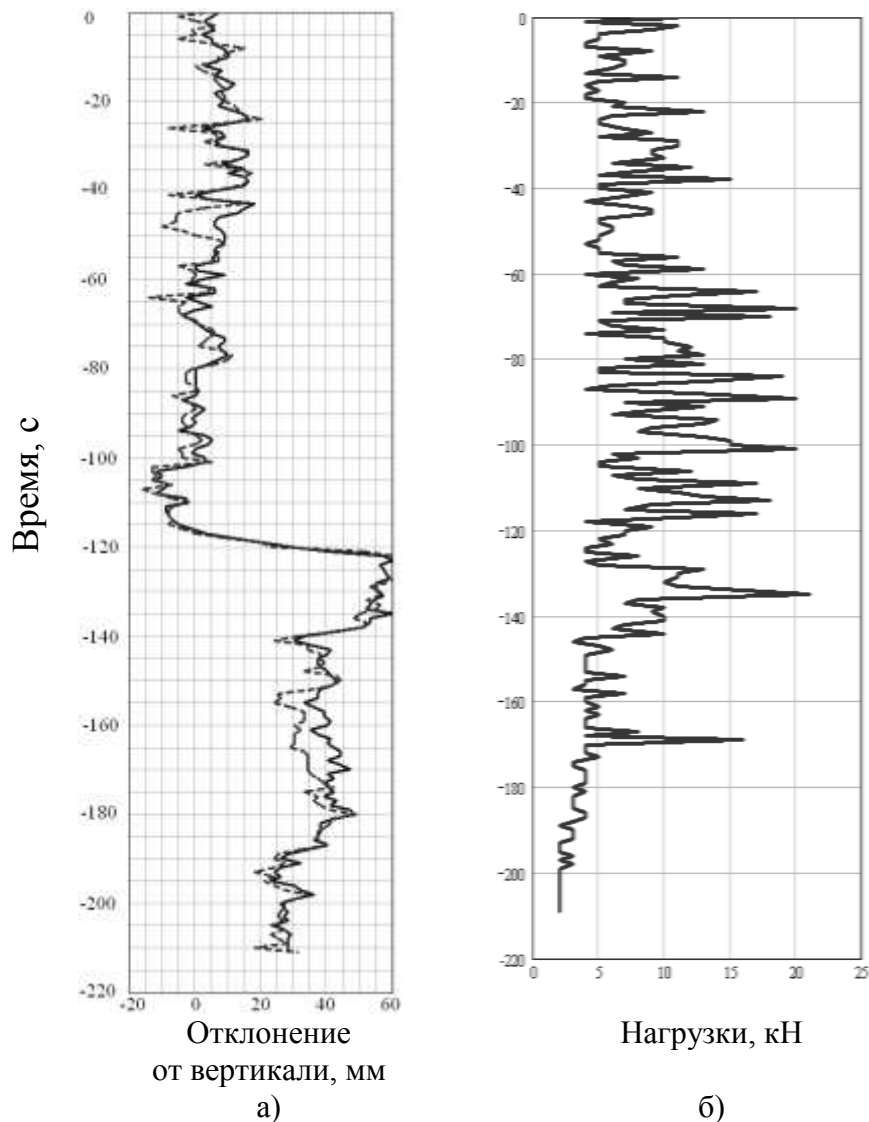
ЗАО «ЗЖРК», ГС-1,
породное скиповое
отделение

Сухая Балка,
«Юбилейный»,
восточное скиповое
отделение

КЖРК, «Заря»,
восточное скиповое
отделение

КЖРК, «Гвардей-
ская-Южная»,
восточное скиповое
отделение

Рисунок 12 - Абсолютные профили проводников



а) лобовых профилей проводников (без разнесения на ширину скипа);
 б) контактных нагрузок при подъеме груженого скипа

Рисунок 13 - Сводный график геометрических и динамических параметров системы «скип - армировка» южного скипа в стволе ГС–2

Поэтому для определения возможности выхода сосуда из колеи необходимо путем специализированных обследований выполнить следующие мероприятия:

- на базовой отметке ствола измерить фактические лобовые зазоры, глубина зева башмаков и ширину колеи;
- методом динамических испытаний и деформационно-прочностных расчетов на каждом ярусе определить фактические лобовые и боковые нагрузки, рассчитать динамический лобовой прогиб;
- используя данные маркшейдерской съемки и динамических прогибов, рассчитать поярусные значения динамической ширины колеи, поярусные значения суммарных динамических лобовых зазоров для каждой пары противостоящих башмаков на верхнем и нижнем поясах сосуда;

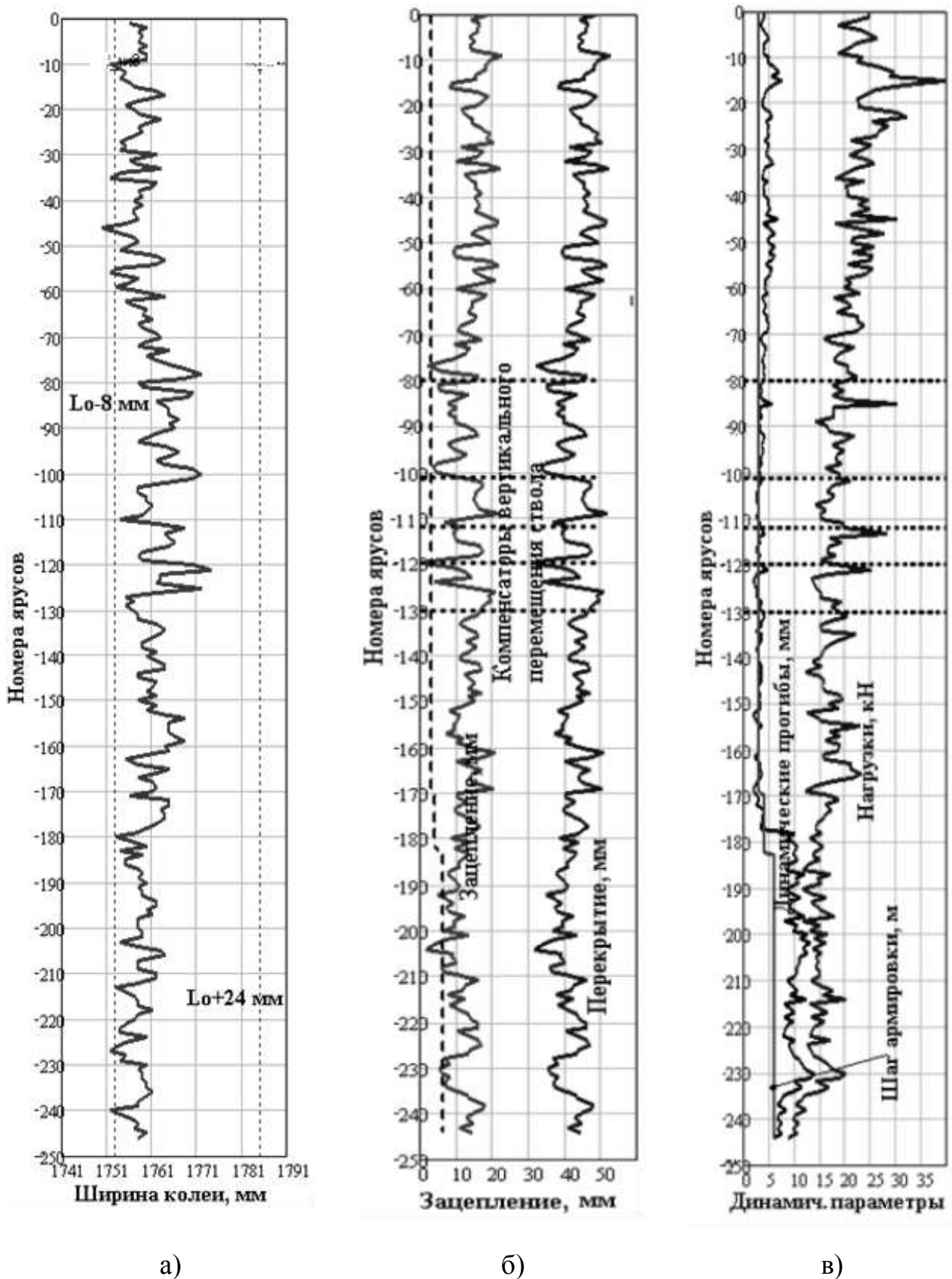


Рисунок 14 - Геометрические и динамические параметры системы «сосуд-армирование» рудо-подъемного ствола

- рассчитать поярусные значения «перекрытия» и «зацепления» (рис.2,

рис. 11);

- для обследуемой системы «сосуд-армировка» выполнить расчеты и построить зависимость, аналогичную зависимости на рис. 8;

- сравнить полученные при динамических измерениях поперечные значения максимальных боковых нагрузок и значения фактического зацепления. Если на каком-либо пролете между ярусами фактические значения боковых нагрузок для соответствующего значения зацепления, окажутся выше предельно допустимых по рис. 8, разработать рекомендации по приведению в соответствие статической и динамической ширины колеи, суммарного лобового зазора, динамических нагрузок в лобовой и боковой плоскостях.

Выводы.

1. Опасность выхода сосуда из зацепления с проводниками, имеющими скругленные ребра, в зависимости от геометрической формы поперечного сечения проводника (радиуса скругления ребер) и действующей горизонтальной нагрузки, может наступить при динамических нагрузках более 30кН, когда динамические прогибы, гораздо меньших, чем значение 45 мм, нормированное в ПБ (ЕПБ) для угольных и рудоподъемных стволов.

2. Реальный уровень динамической наруженности для каждого ствола необходимо определять при выработке решения о применении проводников из цельнотянутых квадратных труб после выполнения внеочередного технического осмотра армировки ствола специализированной организацией.

3. Параметры безопасной эксплуатации систем «подъемный сосуд - армировка» с проводниками, имеющими скругленные ребра, необходимо определять путем индивидуального расчета допустимых значений деформаций армировки в зависимости от фактических контактных нагрузок, параметров формы сечения и профилей проводников, глубины зева башмаков, определенных с применением аппаратных методов контроля при проведении специализированных обследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плахно, М. Новые методы проектирования жесткой армировки стволов / М. Плахно // Горнодобывающие науки 50. – 2005. – Вып. 4. – с. 465-496.

2. Воробель, С.В. Динамическое обследование жёсткой армировки шахтных стволов / С.В. Воробель, Г.Д. Трифанов, А.А. Князев // 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. Hansel J., Kawka G. and Plachno M. (1985) “An estimation of mine conveyance guiding”, *Mechanika*. - Tom 4 - Zeszyt 2.- Wydawnictwo AGN, Krakow, pp.115-128.

4. Дворников, В.И. Конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного состояния жесткой армировки стволов под действием эксплуатационных нагрузок со стороны подъемных сосудов / В.И. Дворников, М.В. Дубинин // 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. – Изд-во Перм. нац. иссл. политех. ун-та, Пермь, 2014. – с.55-60.

5. НПА ОП 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. Анализ влияния формы сечения коробчатых проводников жесткой армировки шахтных стволов на допустимую скорость движения подъемных сосудов. / С.Р. Ильин, К.А. Соломенцев, В.И. Василькевич // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. - Вып. 120 – Днепропетровск, 2015. - 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 / С.Р. Ильин // Международный журнал транспорта и логистики, с. 395-403.

9. Ильин С.Р. Динамическая диагностика систем «сосуд – армировка» вертикальных шахтных стволов / С.Р. Ильин, Г.Д. Трифанов // Горное оборудование и электромеханика. – 2009. – №8. – с. 29 – 34.

REFERENCES

1. Płachno, 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 Knyazev, A.A. (2007) “Dynamic Survey rigid reinforcement shafts Problems of the integrated development of mineral deposits in the Perm region”, *Materialy krayevoj nauchno-tehnicheskoy konferencii studentov, aspirantiv I molodykh uchenykh* [Materials the edge scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists], Perm Publishing House of Perm State Technical University, Perm, RU, 2007, pp. 195 – 201.

3. Hansel, J., Kawka, G. and Plachno, M. (1985) “An estimation of mine conveyance guiding”, *Mechanika*. - Tom 4 - Zeszyt 2.- Wydawnictwo AGN, Krakow, 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”, Perm national research polytechnic university, *Mining Electrical Engineering*, pp. 55-60.

5. State committee of Ukraine on industrial safety, labour protection and mountain supervision (2010), *10.0-1.01-10. Pravila bezpeki u vugilnich shakhtakh* [10.0-1.01-10 Rules of safety in coal mines], State committee of Ukraine on industrial safety, labour protection and mountain supervision, Kiev, Ukraine.

6. Piyin, S. R., Solomencev, K. A. and Vasylkevych, 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), М.М. Fedorov Research Institute of mining mechanics (ed.), Donetsk, Ukraine.

8. Piyin, 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. Piyin, 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

Ильин Сергей Ростиславович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, iljin_sr@mail.ru

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

About the authors

Ilyin Sergii Rostislavovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, M.S.

Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, iljin_sr@mail.ru

Dubinin Mikhail Valerievich, M.S. (Tech), Researcher, M.M. Fedorov Research Institute of Mining Mechanics (RIMM), Donetsk, Ukraine

Анотація. З ростом терміну експлуатації стволів проблема забезпечення безпеки руху підйомних посудин у жорсткому армуванні (з причин збільшення ступеня зносу ствольного обладнання, викривлення осей стовбурів під впливом гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов при збереженні досить високих вимог до продуктивності підйому) набуває особливої актуальності.

Методом кінцево-елементного моделювання отримані амплітудно-частотні та деформаційні параметри найбільш поширених схем армувань і конструкцій скіпів сучасних вітчизняних вугледобувних підприємств. Спираючись на ці результати проведено аналіз мінімально допустимого перекриття провідників бічними гранями башмаків. Отримані результати показують, що при незмінному рівні динамічних навантажень (динамічної ширини колії) ризик виходу посудини із зачеплення зростає пропорційно лобовому зносу вкладишів башмаків і провідників, який призводить до збільшення лобового сумарного зазору і зменшенню області перекриття бічних поверхонь провідника стінками башмака.

Ключові слова: жорстке армування, шахтний стовбур, коробчастий провідник, зварювальний шов, радіус закруглення провідника, динамічний прогин провідника.

Abstract. With the growing the life of shafts the problem to ensure safety lifting vessels in a Hard armor (due to increased wear of shaft equipment, curving shafts axes under the influence of geological and mining-technical conditions while maintaining a sufficiently high performance requirements mine hoist).

By the method of finite element modeling obtained amplitude-frequency and deformation parameters of the most common hard armor schemes and skips designs by modern domestic coal producers. Based on these results was analyzed the minimum overlap of the side surfaces of the leading device. The results show that at invariable level of the dynamic loads (dynamic track width) the risk getting out of gearing of the vessel increases in proportion to the head-wear leading devices and streaks, which leads to an increase in total frontal gap and decrease the overlap region of the streak side surfaces by the walls of the leading device.

Keywords: rigid reinforcement, mining shaft, box-shaped conductor, a weld, the radius of the rounded conductor, the dynamic deflection of the conductor.

Стаття поступила в редакцію 15.05.2015

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук А.П. Круковским