

Список літератури

1. Васильев А.А. Электрическая часть станций и подстанций / А.А. Васильев. – М.: Энергоатомиздат, 1990 – 551 с.
2. Управление тиристорными возбудителями высоковольтных синхронных двигателей / О.И. Осипов, В.В. Мельников, А.А. Оськин, К.Л. Куцый // Вестник ЮУрГУ/ Сер.: Энергетика. – Южноуральск, 2008. – Вып. 26(126). – С. 56–60.
3. Низимов В.Б. Управление форсировкой возбуждения синхронных двигателей с компенсацией инерционности контура возбуждения // Тезисы докладов научно-технической конференции “Проблемы создания новых машин и технологий”. – Кременчуг: КПИ - 1998. - с. 71.
4. Рожкова Л.Д. Электрооборудование станций и подстанций / Л.Д. Рожкова, В.С. Козулин. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 644 с.
5. Лойко К.Г. Автоматы гашения магнитного поля современных синхронных генераторов и компенсаторов / К.Г. Лойко, И.О. Куницкий // Материалы СНТК: Актуальные проблемы энергетики. – Минск, 2013. – Вып. 65. – С. 20-22.
6. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / ГОУВПО «Ивановский государственный университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2008. – 298 с.

*Рекомендовано до друку: д-ром техн. наук, проф. Синчуком О.М.*

УДК 622.673.1

*Ильина С.С., канд. техн. наук*

*(Украина, Днепропетровск, Государственный ВУЗ «Национальный горный университет»)*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ АРМИРОВОК  
ДЕЙСТВУЮЩИХ РУДОПОДЪЕМНЫХ СТВОЛОВ**

В отечественной практике используется определенный набор конструкций ярусов армировки, применяемых в рудных стволах (рис. 1). Они выполнены из металлопроката определенного профиля и типоразмера. Наиболее часто для проводников скиповых отделений применяются коробчатые профили сечением 160x160x12 (14, 16) мм, 180x180x12 мм, 200x200x14 мм. Для проводников клетевых отделений, контрвесов и скипов небольшой грузоподъемности обычно применяются рельсовые проводники типа Р38, Р43. В качестве расстрелов для мощных скиповых подъемов (грузоподъемностью 25 – 50 т) применяются двутавровые балки 36С или коробчатые расстрелы сечением 210x125x12 мм. Для маломощных подъемов используются расстрелы швеллерных сечений 20, 27, в качестве вспомогательных упоров применяются равнобокие уголки размером 100x100x12 мм.

Анализ схем армировок, приведенных на рисунках, показывает, что опорная горизонтальная жесткость проводника, закрепленного в ярусе на расстреле, в лобовой плоскости главным образом будет определяться длиной свободного пролета расстрела между упорами или его концами. Если боковой расстрел имеет упор напротив проводника, а центральный является балкой большой длины, заделанной в крепь и соединенной с центральным ствольным расстрелом, то в такой системе жесткость бокового проводника и его динамическая реакция на движение сосуда будут в несколько раз большими, нежели на центральном расстреле (ствол «Вентиляционный» Полтавского ГОКа, рис. 1). Таким образом, горизонтальная динамическая реакция сосуда, движущегося по такой паре проводников, будет носить явно несимметричный характер, и при равных параметрах искривления профиля проводников динамические нагрузки на более жесткий проводник должны быть большими, чем на противоположный, закрепленный на расстреле с большей длиной свободного пролета.

Такая ситуация требует детального изучения параметров опорной жесткости проводников, применяемых в современных условиях действующих стволов, особенно при их нахождении в зоне сдвижения горных пород (стволы ГС-1, ГС-2, «Вспомогательный» ЗАО «ЗЖРК» и др.). Так как там неизбежны значительные отклонения профилей проводников от вертикали и создание больших контактных нагрузок в системах «сосуд – армировка», то их необходимо учитывать в технических решениях, направленных на увеличение плавности движения подъемных сосудов на повышенных скоростях. Изучение упругих характеристик жестких армировок целесообразно проводить методом математического моделирования. В наибольшей степени для этого подходит метод конечных элементов, реализованный в системе SolidWorks Simulation [1].

Исходными данными для моделирования являются масштабные сечения ярусов армировок и результаты инструментальных измерений остаточных толщин проводников и расстрелов, полученные при оптико-визуальных обследованиях стволов.

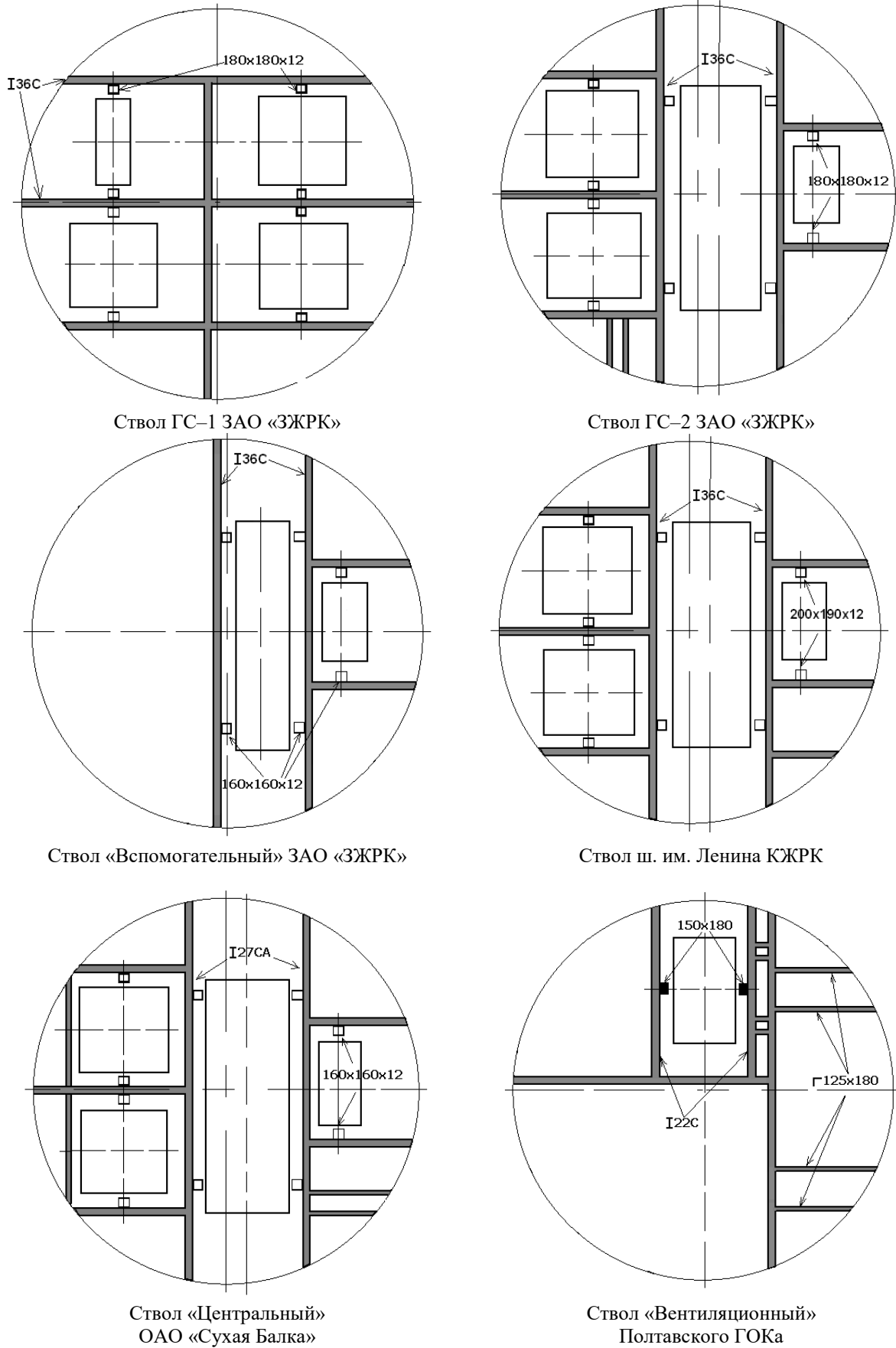
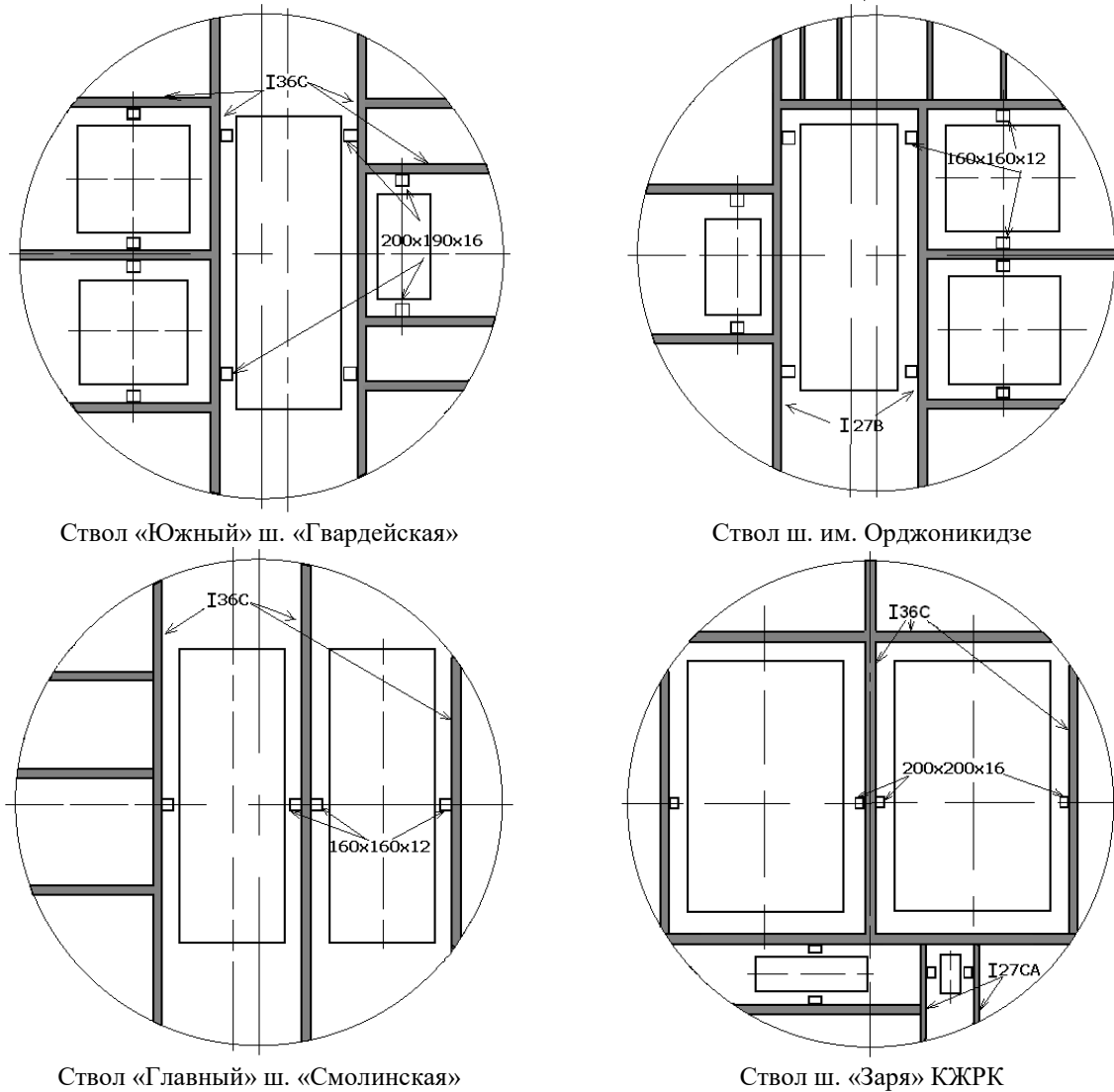


Рис. 1. Схемы армировок рудоподъемных стволов



Продолжение рис. 1

При моделировании в системе SolidWorks строится объемная модель протяженного участка армировки ствола, в которую входят все несущие элементы каждого яруса с их реальными геометрическими размерами, материалом и вспомогательными конструкциями. При расчетах в качестве внешних нагрузок задаются единичные усилия, действующие от башмаков подъемных сосудов. Рассчитывается поочередно несколько схем приложения нагрузок:

- силы прикладываются к лобовым плоскостям каждого проводника на участках крепления проводников к расстрелам;
- силы прикладываются к боковым плоскостям каждого проводника на участках крепления проводников к расстрелам;
- силы прикладываются к лобовым плоскостям каждого проводника на участках в середине пролета между ярусами;
- силы прикладываются к боковым плоскостям каждого проводника на участках в середине пролета между ярусами.

В результате моделирования определяются прогибы системы «проводник – расстрел» в точке приложения и в направлении действия единичной силы. Опорная жесткость системы определяется как частное от деления.

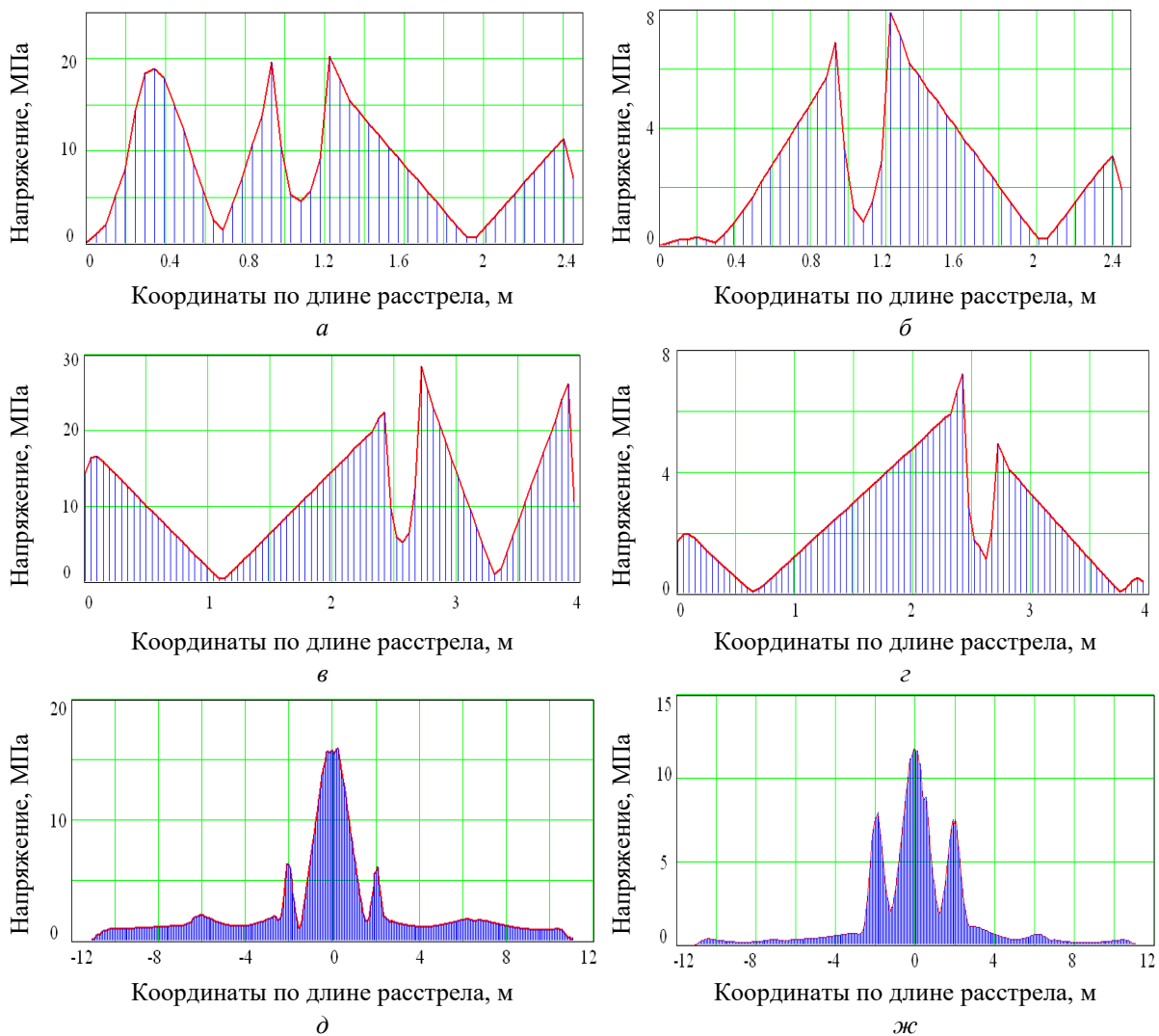
На рис. 2 приведены эпюры напряжения проводников в разных случаях приложения единичной контактной нагрузки, полученные на примере рассмотрения армировки шахты «Заря» КЖРК.

Эти результаты показывают, что:

- напряжения в проводниках в 1,5 – 2 раза меньше, чем в расстрелах;
- напряжения в сечениях балок расстрелов имеют наибольшие значения в средней части в местах закрепления проводников;

- в проводниках напряжения достигают наибольшего значения в случае приложения силы в середине пролета;
- напряжения в расстрелах в случае приложения лобовой силы к проводнику намного больше, чем в случае приложения боковой силы;
- опорная жесткость центральных расстрелов, длина которых больше по сравнению с теми, на которых крепится по два проводника, может отличаться на 40 – 60% от жесткости боковых, меньшей длины, но с одним проводником при динамических воздействиях со стороны подъемного сосуда.

Из этого следует, что наиболее нагруженными элементами армировки являются ее расстрелы, причем наибольшие напряжения они испытывают от действия лобовой нагрузки со стороны подъемно сосуда. Это предопределяет первоочередную необходимость решения задачи снижения лобовых динамических нагрузок в системе «сосуд – армировка» по сравнению с боковыми колебаниями в стволах с нарушенной геометрией. При этом необходимо учитывать в расчетной схеме динамической задачи фактические различия в значениях опорных жесткостей между боковыми и центральными расстрелами при ударном взаимодействии предохранительных башмаков сосуда с проводниками.



**Рис. 2. Эпюры напряжений в элементах армировки нагрузок со стороны подъемного сосуда: боковой расстрел лобовые (а) и боковые (б) нагрузки на проводник 6; центральный расстрел лобовые (в) и боковые (г) нагрузки на проводник 5; проводники 5/6 лобовые (д) и боковые (е) нагрузки**

Для обоснования параметров расчетной схемы, обеспечивающей при моделировании достаточную достоверность расчетов значений опорных жесткостей проводников, рассмотрим значения напряжений, которые действуют в боковом проводнике при лобовом или боковом приложении контактной нагрузки в пролете. В модели учитываются расчеты одного, трех, пяти и семи пролетов проводника для характерной схемы армировки скиповых отделений ствола шахты «Заря» КЖПК, полученные путем компьютерного моделирования в системе SolidWorks – Simulation.

Таким образом, мы имеем полный набор характеристик жесткости армировки в каждом кинематически возможном случае приложения внешней нагрузки. Путем численных экспериментов на большом количестве схем и параметров армировок определено, что влияние на полученные результаты количества ярусов, участвующих в расчетной схеме, становится несущественным при их количестве свыше 5 – 6. Поэтому при тестовых расчетах деформационно-прочностных параметров армировок была принята расчетная схема, включающая в себя не менее, чем по 3 яруса выше и ниже точки приложения единичной горизонтальной силы, от 6 (нагрузка приложена в ярусе) до 7 (нагрузка приложена в пролете) ярусов не зависимо от схемы яруса.

Результаты расчетов для проектных параметров армировок без учета эксплуатационного износа для деформации в лобовых плоскостях проводников приведены в таблице.

<b>Напряжения в проводнике, мПа (лобовая сила приложена в пролете)</b>			
Один пролет	Три пролета	Пять пролетов	Семь пролетов
12,3	10,3	10,3	10
<b>Напряжения в проводнике, мПа (боковая сила приложена в пролете)</b>			
9,1	8,7	8,6	8,5
<b>Напряжения в проводнике, мПа (лобовая сила приложена в ярусе)</b>			
Один ярус	Три яруса	Пять ярусов	Семь ярусов
24	21	18	18
<b>Напряжения в проводнике, мПа (боковая сила приложена в ярусе)</b>			
13	8,5	6,9	6,8

Эквивалентная опорная жесткость системы «ролик – проводник» определяется по формуле последовательного соединения жесткостей [2]:

$$C_{ekv} = \frac{C_{rol} \cdot C_{pr}}{C_{rol} + C_{pr}} = \frac{C_{pr}}{K + 1},$$

где  $K = \frac{C_{pr}}{C_{rol}}$  – коэффициент отношения жесткостей роликов и проводников.

В подавляющем числе стволов шаг армировок не превышает 4 м, что обеспечивает их высокую жесткость на стадии строительства. На стадии эксплуатации кинематические зазоры между башмаками и проводниками в условиях сдвижения горных пород зачастую поддерживаются на уровне 30 – 40 мм на сторону для предотвращения заклинивания сосуда в значительно искривленных проводниках. В этих случаях роликовые амортизаторы работают за пределами проектных деформаций, а их нагрузочные характеристики отличаются от проектных. Такое положение требует проведение отдельных исследований фактических опорных жесткостей роликовых направляющих, применяющихся в конкретных условиях вертикальных стволов, в сравнении с индивидуальными жесткостными характеристиками конкретных проводников для каждого отдельного подъемного сосуда.

Таким образом, анализ данных расчетов опорных жесткостей армировок в пролетах и в ярусах для действующих стволов показывает, что жесткости проводников для разных стволов, в которых работают идентичные по массе подъемные сосуды, находятся в пределах  $3 \cdot 10^3 - 9 \cdot 10^4$  кН/м. При этом опорные жесткости проводников (особенно в ярусе) в зависимости от конструкции армировки могут различаться между собой от 10 до 100 раз.

Жесткость проводника в ярусе может быть в 2 – 4 и более раз выше, чем в пролете. Это создает условия для параметрического возбуждения горизонтальных колебаний сосуда армировкой при жестком контакте башмаков с проводниками и предпосылки возникновения параметрического резонанса в условиях значительного износа проводников и расстрелов, не учтенного при проектировании.

#### Список литературы

1. Самуся В.И. Моделирование динамики системы «сосуд – армировка» в программном комплексе SolidWorks-SolidMotion-CosmosWorks / В.И. Самуся, С.С. Ильина // Проблемы експлуатації обладнання шахтних стаціонарних установок: зб. наук. праць. – Донецьк: НДІГМ ім. М.М. Федорова, 2010–2011. – №104–105. – С. 56 – 78.
2. Ильина С.С. Влияние эксплуатационных параметров роликовых катков, жесткостных характеристик армировки вертикальных стволов на колебания шахтных подъемных сосудов / С.С. Ильина // Стальные канаты: сб. науч. тр. / МАИСК. – Одесса: Экология, 2010. – №8. – С. 79 – 102.

*Рекомендовано до друку: д-ром техн. наук, проф. Самусею В.И.*