

УДК 622.674

**С.Р. Ильин, ст. науч. сотр., канд. техн. наук**

*Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины*

*E-mail: iljin\_sr@mail.ru*

## **СЛОЖНЫЕ ПОЛИЧАСТОТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ В ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ «ПОДЪЕМНЫЙ СОСУД - АРМИРОВКА» ШАХТНЫХ СТВОЛОВ**

*Анализируются ударно-колебательные режимы взаимодействия скипов шахтных подъемных установок с проводниками жесткой армировки. Определены режимы взаимодействия сосудов с армировкой в промышленных условиях.*

**Ключевые слова:** шахтная подъемная установка, армировка шахтных стволов, динамика армировки.

Подъемный сосуд шахтной подъемной установки (скип, клеть) является ее главным рабочим органом. Безопасность и эффективность его работы в заданном технологическом режиме обеспечивается всеми технологическими механизмами и оборудованием ШПУ. Вспомогательным рабочим органом, который одновременно со скипом или клетью находится под управляющим воздействием со стороны технологических звеньев ШПУ, является контрвес основного сосуда в двухконцевой подъемной установке. Авария с любым из этих сосудов надолго блокирует работу всего стволового подъемного комплекса и зависящей от него части горнодобывающего предприятия.

Подъемный сосуд является массивным объемным телом, вертикальный размер которого может достигать 10-20 м при поперечных размерах 1,5-4 м. Он движется по стволу за счет силы натяжения головного каната (нескольких канатов в многоканатных ШПУ), который перематывается через ведущий барабан по определенному закону (диаграмме скорости), и взаимодействует по 5-ти степеням свободы через систему упругих (или жестких) направляющих с парой (или 2-мя парами) упругих проводников, дискретно опирающихся на установленные по глубине ствола с определенным шагом (переменным в некоторых случаях) расстрелами армировки. Движение происходит в стесненных условиях с максимально допустимыми по ПБ кинематическими зазорами между жесткими предохранительными башмаками и проводниками по 23 мм на сторону. Характерной особенностью данной механической системы является то, что опорная жесткость упругих проводников с расстрелами может быть в 10..100 раз больше жесткости направляющих устройств сосуда.

Практика эксплуатации показывает, что максимальный уровень контактных нагрузок в системе «сосуд-армировка» растет с увеличением вертикальной скорости движения сосуда по стволу. В силу этого на предприятиях при наличии видимых проблем с армировкой интуитивно снижают скорость подъема или массу груза, чтобы снизить уровень контактных нагрузок на армировку до безопасного уровня. Традиционно считается, что максимальные контактные нагрузки действуют на армировку на участке движения сосуда с постоянной скоростью, который занимает 60–80 % от высоты подъема, а участки разгона и замедления являются второстепенными, относительно короткими, и нагрузки на них не могут быть существенными.

Проведенные в последнее время многочисленные аппаратурные измерения динамики систем «подъемная машина – канаты – сосуд – армировка» показали, что данное представление не всегда является полностью адекватным поведению реальной системы. Это вызвано, прежде всего, тем, что относительно времени цикла участок постоянной скорости занимает около 30–40 %, а особенности систем управления отечественных подъемных установок (в том числе и в ручном режиме) не обеспечивают идентичности отработки диаграмм и постоянства максимальной скорости на основном участке.

На первоначальных стадиях эксплуатации новых стволов безопасность обеспечивалась за счет достаточно больших проектных запасов прочности металлоконструкций из-за малых эксплуатационных нагрузок и новой неизношенной армировке при соблюдении условий исключения параметрических резонансных режимов и сверхнормативных искривлений проводников.

В настоящее время, в силу доминирования фактора высокого износа подъемного оборудования и искривления осей стволов в зонах сдвигения горных пород, проблема раскрытия качественных и количественных характеристик динамического взаимодействия подъемных сосудов с армировкой становится необычайно актуальной с практической точки зрения и требует разработки новых теоретических решений по выявлению закономерностей протекания динамических процессов в системах «сосуд – армировка».

Подъемный сосуд представляет собой твердое тело с шестью степенями свободы, подвешенное на упругом канате и опирающееся через систему упругих направляющих устройств с кинематическими зазорами на несколько пространственно искривленных проводников. Его центр масс из-за неоднородности засыпанного груза практически всегда имеет некоторое горизонтальное смещение от

вертикальной оси головного каната (или центра подвеса для многоканатных установок). В многоканатных установках возникает разбаланс натяжений канатов, который также смещает положение центра подвеса от оси сосуда. Это создает момент пары сил «натяжение каната – сила веса груза», который наклоняет сосуд в вертикальной плоскости на некоторый угол и уравнивается моментом сил реакции упругих направляющих (рисунок 1).

Именно диаграмма скорости вращения подъемной машины и неоднородность загрузки сосуда могут являться источником непроектного нагружения армировки на фиксированных участках ствола. То есть закон вертикального движения сосуда, задание которого определяется без учета указанных факторов, при прочих равных условиях, оказывает определяющее влияние на уровень и характер горизонтальных динамических нагрузок в системе «сосуд – армировка». Данное положение касается и скиповых и клетевых подъемных установок, причем на клетевых подъемах эксцентриситет расположения центра масс может иметь гораздо большую величину, чем на скиповых при спуске/подъеме негабаритного груза.

Этот процесс легко обнаружить на участках изломов традиционной пятипериодной диаграммы скорости при аппаратурных динамических измерениях в стволе [1–3]. Повторяясь от цикла к циклу в течение 200–300 раз за рабочий день такие всплески горизонтальных нагрузок способствуют ускоренному истиранию проводников на этих участках, расшатыванию узлов крепления, что может являться главной причиной их спонтанного разрушения.

Кроме того, известно, что при кратных соотношениях частот вертикальных и собственных угловых колебаний сосуда с упругими направляющими возникает явление параметрической неустойчивости в системе «сосуд – армировка» [4], которое особенно сильно проявляется при срабатывании предохранительного тормоза, вызывая рост горизонтальных колебаний сосуда с ударами по жестким проводникам и повышенными деформациями гибкой армировки [5].

На протяжении рабочего цикла диаграмма вертикальной скорости имеет два физических механизма влияния на горизонтальные колебания сосуда:

- через формирование закона горизонтальных возмущений от искривленных профилей проводников, амплитудно-частотная характеристика которых на локальном участке напрямую определяется вертикальной скоростью сосуда;
- через натяжение упругого каната, колебания которого вызваны рывками окружной скорости барабана подъемной машины, и, в силу суперпозиции периодического смещения точки подвеса сосуда от вертикали и постоянного на цикле подъема эксцентриситета груза в сосуде, создают периодическую составляющую в функции момента силы натяжения каната, раскачивающего сосуд по угловым степеням свободы в лобовой и боковой плоскостях.

Чем больше жесткость роlikоопор, тем больше допустимое смещение груза при неизменном базовом кинематическом зазоре в паре «башмак – проводник». При малом зазоре требуется большее значение жесткости ролика для удержания системы в бесконтактном состоянии. Но при этом повышение жесткости роlikоопоры приводит к повышению собственных частот горизонтальных колебаний системы и увеличивает вероятность попадания в резонансную область возмущений со стороны регулярно искривленных проводников при высокой скорости подъема.

Это значит, что при одном и том же вертикальном возбуждении, вызванном диаграммой скорости подъемной машины, проявляется суперпозиция четырех факторов, связанных с параметрами системы «канат – груз – сосуд – направляющие» (смещение груза, резонансное сочетание величин жесткостей каната и упругих направляющих, контактное прижатие башмаков к проводникам, базовый кинематический зазор), которые могут суммировать свои негативные воздействия на динамику системы на переходных участках. Из этого следует, что для каждой системы «сосуд – армировка» с фиксированным значением жесткости роlikовых направляющих существует свое предельно допустимое смещение груза от вертикали, до превышения которого роlikовые направляющие еще могут оказывать стабилизирующее влияние на движение системы, а выше которого их влияние становится несущественным.

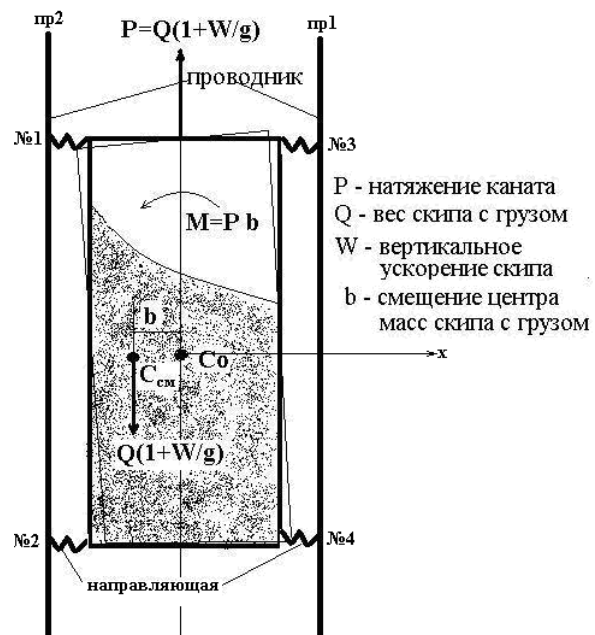


Рисунок 1 – Расчетная схема взаимодействия скипа с армировкой при смещении центра масс груза

Это говорит о сложности выбора рациональных параметров системы «сосуд–армировка» и необходимости решения задачи для условий конкретного грузоподъемного отделения.

В работе [1] приведены экспериментальные данные, которые показывают, что при ручном управлении подъемной машиной нестабильность поддержания максимальной скорости на основном участке ствола приводит к такому же росту динамических нагрузок на армировку, что и на переходных участках диаграммы в начале и конце ствола.

Если случайно участок возбуждения (при торможении или изломе диаграммы на рабочем цикле) совпадет с участком повышенного коррозионного износа проводников или расстрелов в стволе, то неожиданно ускоренное разрушение армировки с потенциально аварийными последствиями может оказаться практически неизбежным, а при систематическом повторении от цикла к циклу вызовет ускоренный усталостный износ рамы сосуда и ее разрушение [2, 3].

Анализ показывает, что синтез диаграммы скорости движения сосуда, обеспечивающей ограничения на максимальные значения ускорения и рывка, определяемые состоянием армировки с учетом реально возможных смещений центра масс груза, параметров роликовых амортизаторов в первую очередь необходим для обеспечения безопасности работы подъема. Оптимизация диаграмм скорости позволяет в заданных горнотехнических условиях конкретного ствола минимизировать время цикла и снизить нагрузки на армировку.

Проведенные в промышленных условиях многочисленные измерения динамических параметров систем «подъемная машина – канат – сосуд – армировка» показали, что применяемые в настоящее время на отечественных подъемах системы управления не всегда обеспечивают идентичность и сглаженность диаграмм скорости от цикла к циклу.

На рисунках 2 и 3 приведены графики фактической окружной скорости барабана подъемной машины, полученные при проведении динамических исследований систем «сосуд–армировка» соответственно в породном скиповом и контрвесном отделениях ствола ГС-1 Запорожского ЖРК.

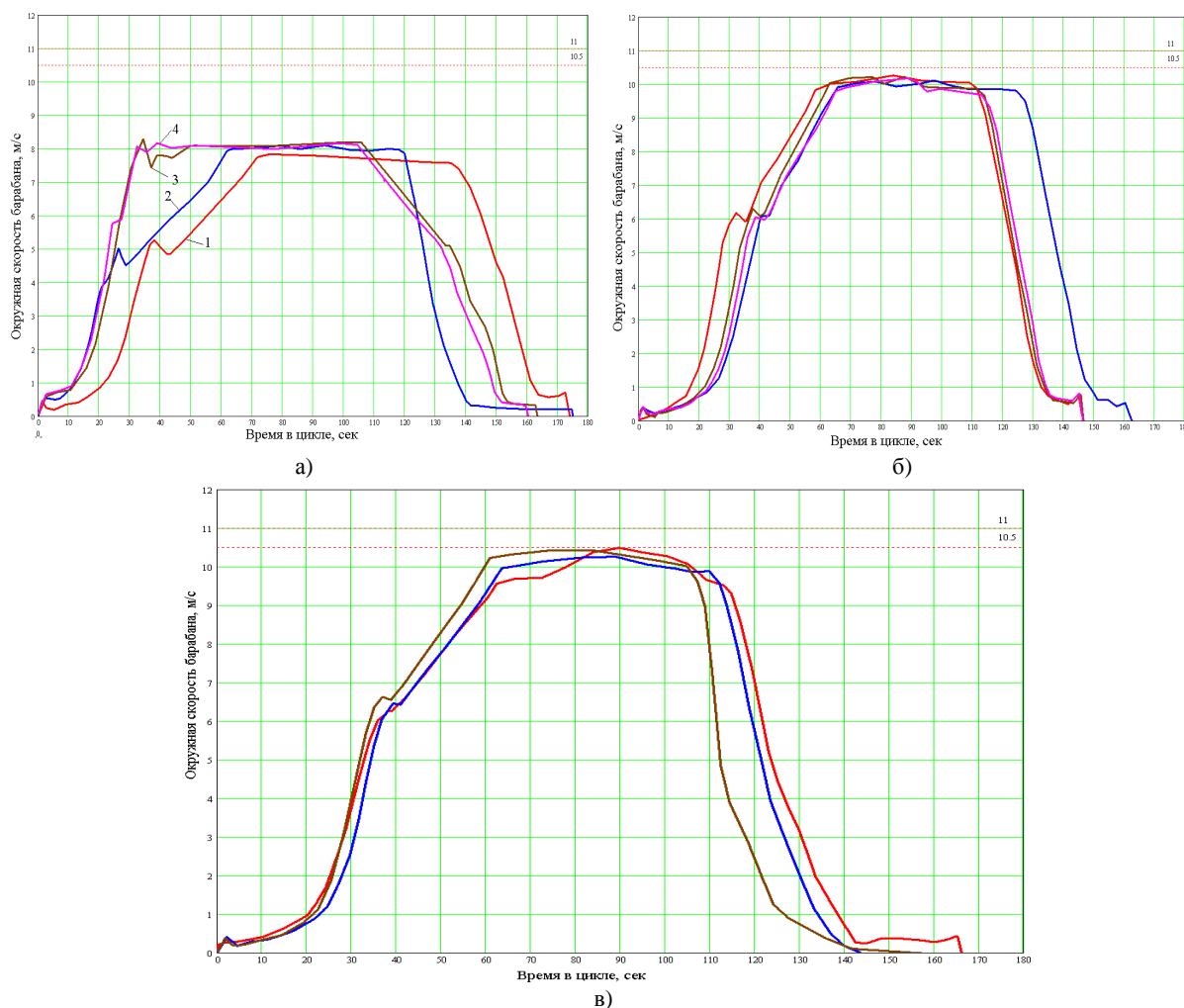


Рисунок 2 – Диаграммы скорости 2-х подъемов грузеного (кривые 1, 2) и 2-х спусков порожнего (кривые 3, 4) породного скипа на тестовых проездах при заданной максимальной скорости 8 м/с (а); подъемы на скорости 10 м/с, (б); подъемы на скорости 11 м/с, (в)

Анализ приведенных графиков показывает, что фактические диаграммы линейной скорости подъема сосуда в реальных условиях могут существенно отличаться от достаточно гладкой пятипериодной диаграммы угловой скорости барабана. Такое положение вызвано как погрешностями в работе системы регулирования скорости, так и отсутствием учета переменности радиуса в функции управления угловой скоростью бицилиндрического приводного барабана подъемной машины. Оно приводит к тому, что вертикальные возмущения, действующие на сосуд со стороны каната, на разных циклах спуска/подъема разнятся между собой в определенных пределах, чем создают различия во внешних возмущениях, которые передаются на горизонтальные колебания сосуда и влияют на его соударения с упругими проводниками.

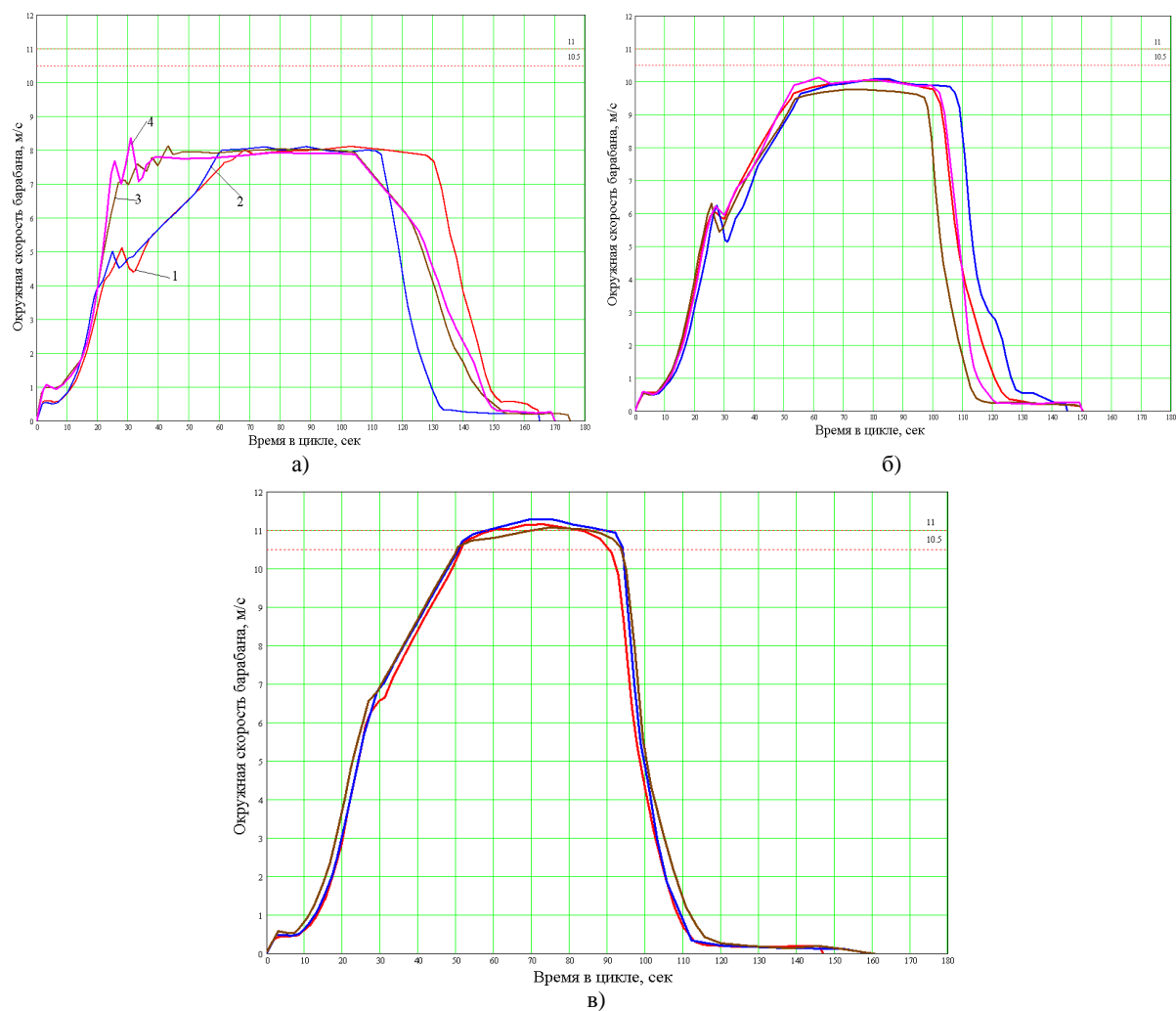


Рисунок 3 – Диаграммы скорости 2-х подъемов (кривые 1, 2) и 2-х спусков (кривые 3, 4) породного контрвеса на тестовых проездах при заданной максимальной скорости 8 м/с (а); подъемы на скорости 10 м/с, (б); подъемы на скорости 11 м/с, (в)

Из приведенных осциллограмм видно, что из-за переменности радиуса навивки фактическая вертикальная скорость сосуда (*окружная* скорость барабана) существенно отличается от пятипериодной диаграммы *угловой* скорости барабана. Движение сосуда с заданной постоянной скоростью происходит только между 65-й и 100-й секундами, тогда как равномерное вращение барабана начинается на 30-й секунде. На этой же секунде на диаграмме окружной скорости виден излом и всплеск из-за перерегулирования, после которого сосуд продолжает набирать скорость, но с уменьшенным ускорением, в то время как канат еще находится на конической части барабана, уже вращающегося равномерно.

Скорость сосуда на равномерном участке можно только условно назвать постоянной, так как она меняется от 9.75 м/с до 10.5 м/с. Из-за этого и окружные ускорения (соответственно и движущее усилие подъемной машины) при разгоне и замедлении сосуда имеют различные на разных циклах значения и меняются в пределах 0.5-0.8 м/с<sup>2</sup>.

На рисунке 4 приведены графики лобовых профилей проводников №1 и №2 скипового отделения в раскладке по номерам ярусов армировки. Горизонтальными прямыми отмечены участки расположения компенсаторов вертикального смещения крепи ствола. Эти участки имеют наибольшие в стволе нарушения прямолинейности проводников. Форма изгиба проводников (а так же оси колеи: кривая ЦК) является характеристикой локального участка ствола, она создает внешние динамические возмущения на движущийся сосуд, а его динамическая реакция зависит от скоростного режима прохода по участку и состояния текущих кинематических зазоров в парах «башмак-проводник», зависящих от положения груза в подъемном сосуде и текущего значения ширины колеи на участке.

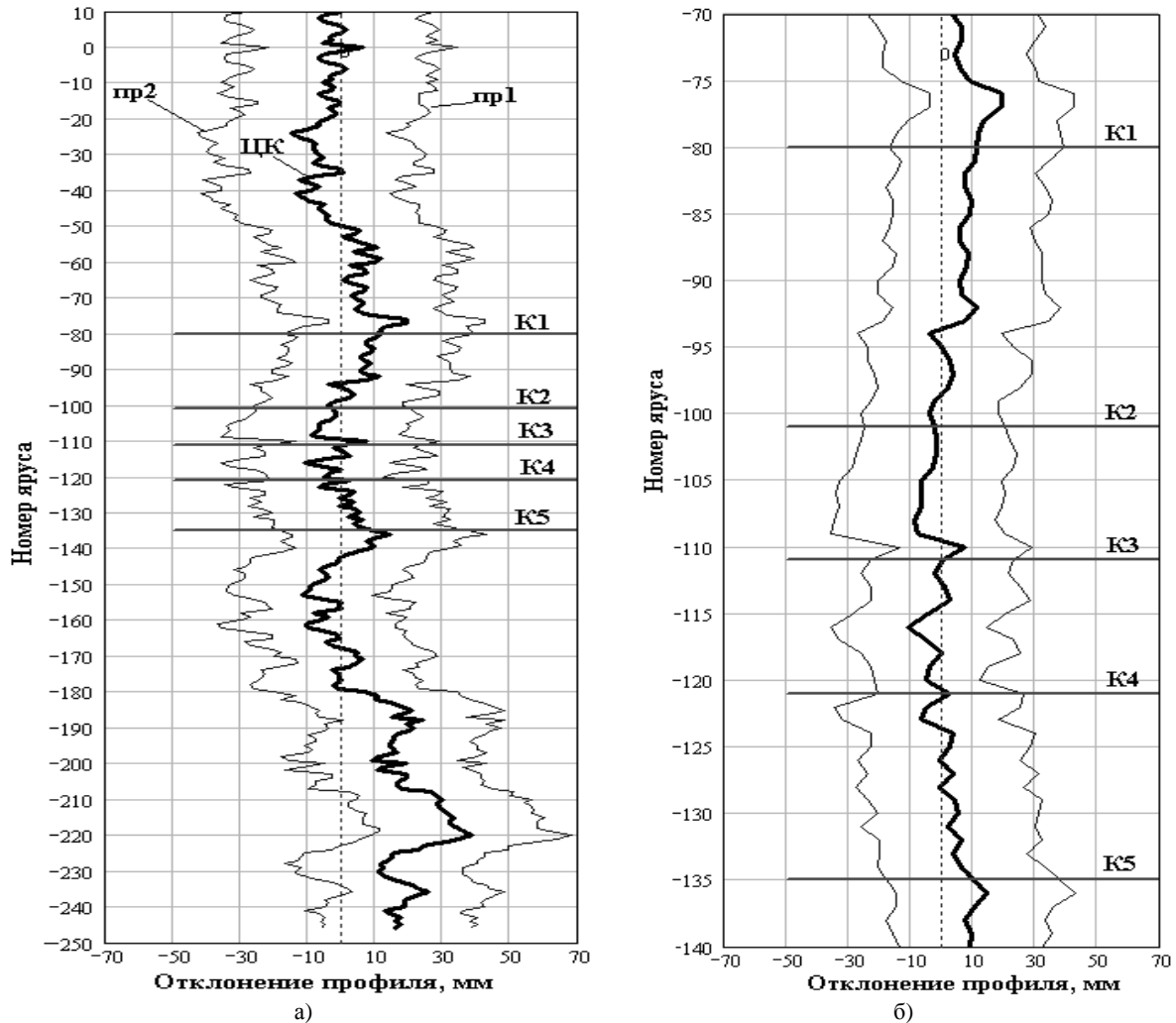


Рисунок 4 – Профили проводников №1, №2 и координаты центра колеи (ЦК) по глубине ствола (а), участок компенсаторов K1-K5 (б)

На рисунке 5 приведен график раскладки номеров ярусов ствола по времени в цикле подъема по фактической диаграмме скорости с отметками расположения компенсаторов вертикального смещения проводников в зоне мульды сдвижения горных пород (горизонтальные прямые), на которых зафиксированы наибольшие искривления осей проводников от вертикали. Переход номера яруса через ноль на 135 секунде подъема соответствует переходу скипа в копровый участок армировки перед входом в разгрузочные устройства. Из графика видно, что сосуд движется по участку компенсаторов между 135-м и 80-м ярусами с 85-й по 105-ю секунды подъема.

Проводники являются упругими ограничителями колебаний скипа. Их фактические профили в развертке по времени представляют собой полигармонические, детерминированные при заданной диаграмме подъема, полигармонические функции, амплитудно-частотные характеристики которых на каждом конкретном участке ствола определяются их отклонениями от вертикали и мгновенной скоростью движения скипа. Базовые зазоры для каждого из башмаков зависят от центровки скипа относительно оси подвеса каната, положения груза в скипе, симметричности настройки упругих роликовых направляющих и др.

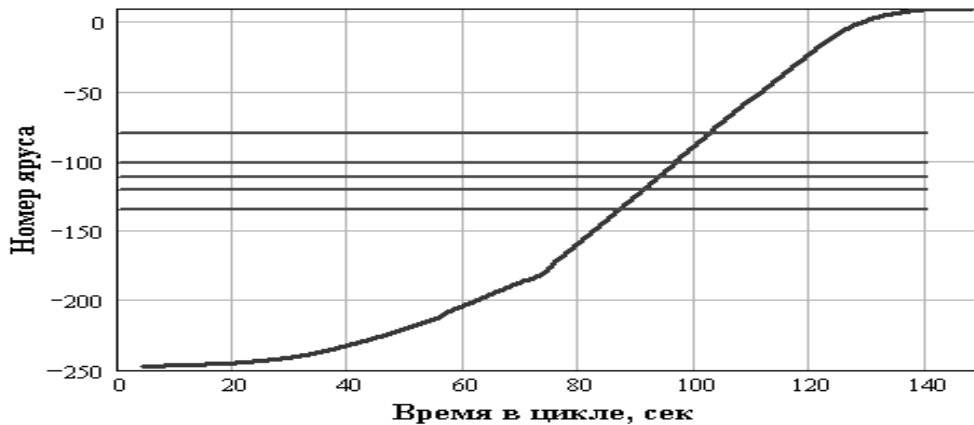


Рисунок 5 – Раскладка номеров ярусов армировки по времени в цикле подъема грузеного скипа

На рисунке 6 приведен график возмущений, действующих на скип в горизонтальной плоскости от искривленных проводников (горизонтальные ускорения точек оси колеи проводников относительно проектной вертикали) при движении сосуда с максимальной скоростью 10 м/с (рисунок 2, б).

Видно, что на интервале движения с максимальной скоростью по участку компенсаторов нарушения вертикальности колеи проводников в отдельные моменты времени (85-95 сек) вызывают рост возмущений наибольшего в цикле уровня по сравнению с другими участками ствола.

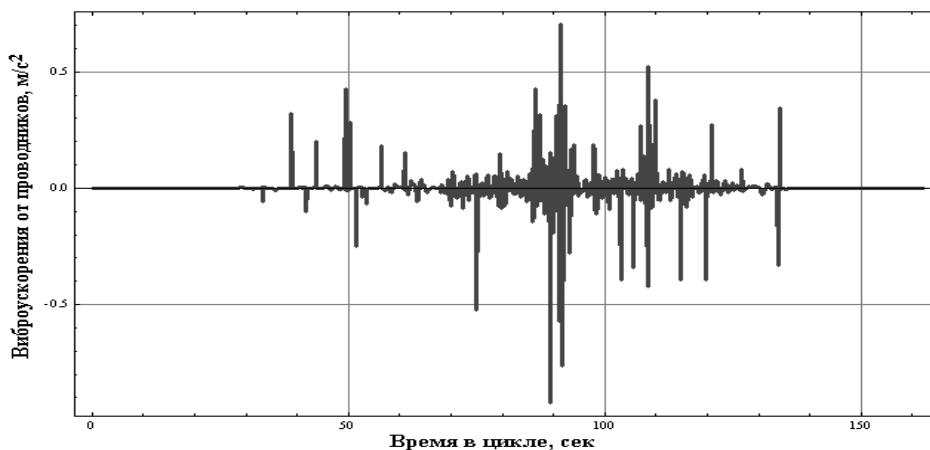


Рисунок 6 – Графики горизонтальных ускорений точек оси колеи проводников относительно проектной вертикали

Ниже приведены результаты моделирования динамического взаимодействия породного скипа с армировкой с учетом возможного горизонтального смещения центра масс груза в кузове при подъеме по фактической диаграмме скорости (рисунок 2, б) и по диаграмме, сглаженной с целью минимизации возбуждения колебаний сосуда, полученной в работе [6]. Моделирование выполняется путем численного решения общей системы дифференциальных уравнений, описывающих динамику систем «сосуд-армировка» в лобовой плоскости проводников, представленных в работе [7].

На рисунке 7 приведены графики лобовых контактных нагрузок на проводники в течение цикла движения от 4-х направляющих скипа при вариации смещения груза в скипе. Из рисунка 7, а видно, что при смещении центра масс груза на +160 мм к проводнику №1 на участках 80-85 сек в системе возникают ударные нагрузки на проводники, амплитуда которых не превышает 25–28 кН (это значительно превышает уровень нагрузок на предыдущем участке безударного движения 0-60 сек). После выхода скипа из этого участка на 90 сек подъема начинается начало участка замедления по диаграмме скорости (рисунок 2, б), которое сопровождается интенсивными вертикальными колебаниями скипа на упругом канате с нагрузками на проводники до 30 кН.

На рисунке 7, б показан тот же процесс, но при смещении груза к противоположному проводнику №2 на -160 мм. Видно, что динамический процесс на этих же участках диаграммы скорости изменился качественно и количественно. Нагрузки на первом участке 80-90 сек остались в пределах 30 кН, переход на второй участок произошел без промежуточного затухания. На участке 90-100 сек максимальные нагрузки выросли до 58 кН. Их максимальные значения реализуются в районе 100-й секунды между двумя последними компенсаторами на участке начала рабочего замедления барабана.

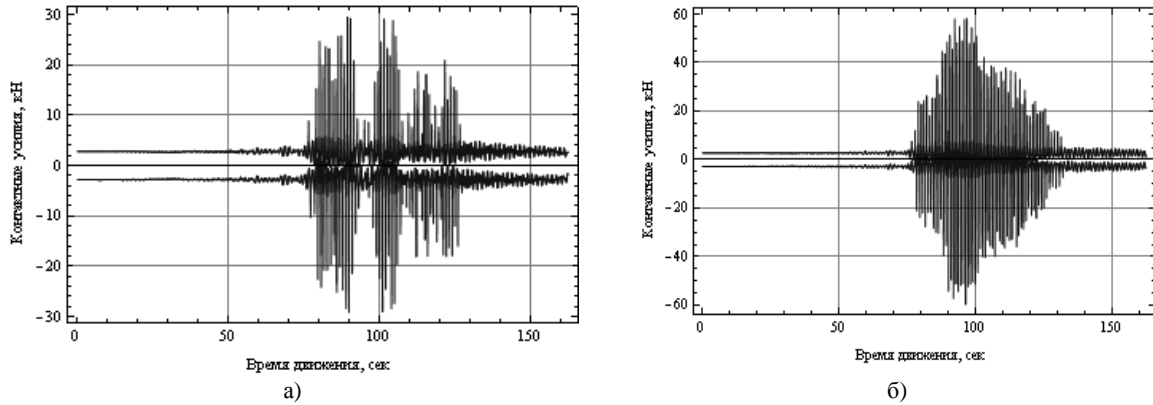


Рисунок 7 – Графики контактных усилий в системе «сосуд – армировка»:  
а) смещение груза на +160 мм (к проводнику №2); б) смещение груза на -160 мм  
(к проводнику №1) при диаграмме скорости цикла №1

Сравнение двух картин динамического поведения скипа показывает, что система «сосуд – армировка» является очень чувствительной к различного рода изменениям технологических параметров, контролировать которые на этапе эксплуатации можно только в пределах изменения их максимальных значений.

Максимальные значения контактных нагрузок реализуются в районе 100-й секунды между двумя последними компенсаторами на участке начала резкого замедления барабана. Сравнение двух картин динамического поведения скипа показывает, что система «сосуд – армировка» является очень чувствительной к различного рода изменениям технологических параметров, контролировать которые на этапе эксплуатации можно только в пределах изменения их максимальных значений.

На рисунке 8 приведены зависимости уровней максимальных нагрузок по каждой из 4-х направляющих в интервалах цикла подъема 85-100 сек, 100-130 сек от смещения груза в скипе (вариация смещения до 200 мм в обе стороны к каждому из проводников).

Из сравнения графиков на рисунках 8, 9 и 10, 11 видно, что на разных циклах подъема с диаграммами скорости, имеющими хоть и близкие, но несколько различные между собой параметры, максимальные нагрузки на армировку существенно разнятся по величине на одних и тех же участках ствола. Это совпадает с картиной, получаемой при аппаратурных измерениях динамики систем «сосуд – армировка» в промышленных условиях.

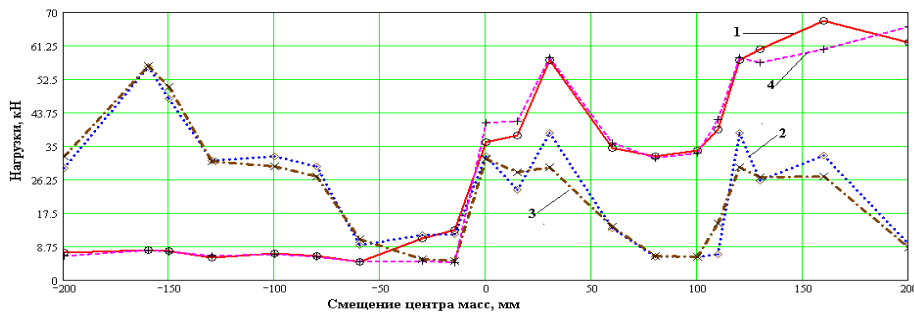


Рисунок 8 – Максимальные контактные нагрузки на участке подъема 85-100 сек в зависимости от смещения центра масс груза в цикле №1

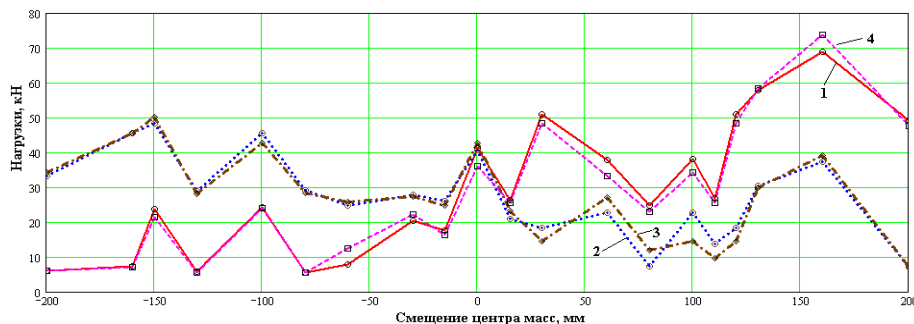


Рисунок 9 – Максимальные контактные нагрузки на участке подъема 100-130 сек в зависимости от смещения центра масс груза в цикле №1

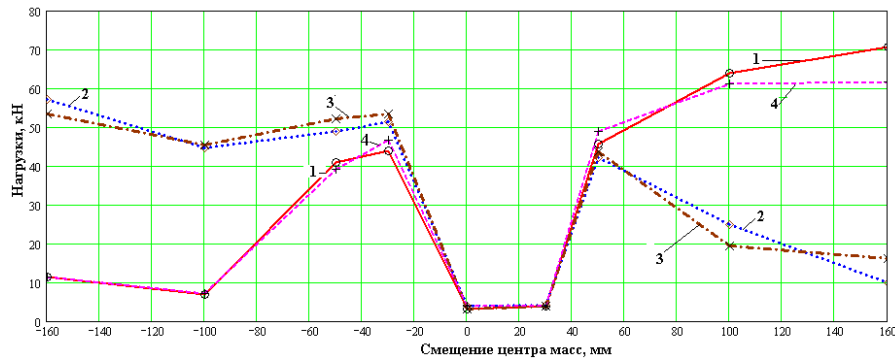


Рисунок 10 – Максимальные контактные нагрузки на участке подъема 85-100 сек в зависимости от смещения центра масс груза в цикле №2

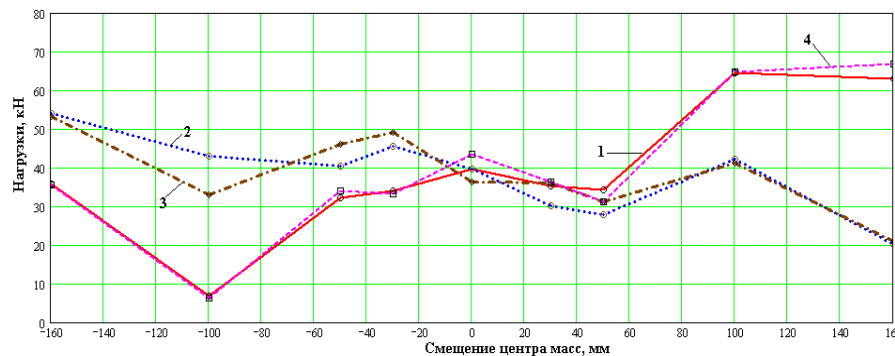


Рисунок 11 – Максимальные контактные нагрузки на участке подъема 85-100 сек в зависимости от смещения центра масс груза в цикле № 2:

1 – направляющая №1; 2 - направляющая №2; 3 – направляющая №3; 4 – направляющая №4

На примере кривых №1 и №4 видно, что контактные нагрузки имеют явную тенденцию к росту на обоих циклах подъема от минимального значения при смещении груза на  $-200$  мм до максимального при смещении на  $+200$  мм на обоих участках ствола. Это вызвано изменением кинематических зазоров в парах «башмаками №1 – проводник №2» и «башмак №4 – проводник №1» от максимального значения (при смещении  $-200$  мм) до минимального (при смещении  $+200$  мм). Аналогичная ситуация, но с противоположным знаком, реализуется для башмаков №2 и №3. То есть поджатые к проводникам башмаки соударяются с ними с большими нагрузками, чем отошедшие на большее расстояние.

Вид кривых максимальных нагрузок показывает, что взаимодействие 4-х колеблющихся башмаков с 2-ми колеблющимися случайным образом проводниками зависит их от мгновенных фаз встречи в зазоре и носит явно *хаотический* характер. Профиль проводников на участках искривления имеет вполне определенный вид. При выбранной диаграмме скорости максимальные возмущения со стороны сосуда приходятся именно на 80-90-е секунды подъема (рисунок 2).

От среднего наклона сосуда в створе проводников и их собственного наклона в пространстве зависит мгновенная фаза их встречи во время горизонтальных колебаний при подъеме. Это объясняет, почему участки роста максимальных контактных нагрузок могут чередоваться с участками их понижения при монотонном увеличении смещения центра масс груза. В то же время видно, что при небольших смещениях груза нагрузки имеют наименьшие значения и лежат в пределах 25-27 кН, а при больших смещениях возрастают до 3-х раз и достигают 60–75 кН.

Анализ изменения характера динамического взаимодействия при изменении начальных условий на выходе скипа из дозатора, на входе в локальный участок проводников, а так же реакции на монотонное изменение смещения груза показывает, что картина колебаний на локальных участках с упругими ударными взаимодействиями носит *хаотический* характер, так как малые монотонные изменения входных параметров вызывают непредсказуемо значительные по амплитуде изменения контактных нагрузок и моментов контакта в цикле подъема.

На рисунке 12 приведены фазовые портреты колебаний скипа на этих участках. На рисунке 13 представлено отображение Пуанкаре для колебаний башмака №1 верхнего пояса скипа в течение цикла подъема, построенное по сечениям Пуанкаре, соответствующим моментам времени прохода скипом ярусов армировки [8] (в эти моменты скип получает наибольшее возмущение от проводников). Для остальных башмаков соответствующие графики аналогичны. Видно, что по амплитуде колебания носят ограниченный характер, относительная скорость при соударениях башмаков скипа и проводников не превышает 0,2 м/с. Картины, представленные на этих рисунках соответствуют хаотическим колебаниям, устойчивые циклы и характерные аттракторы не образуются.



Для практических целей обеспечения безопасности работы подъема характер колебаний скипа внутри кинематических зазоров не имеет существенного значения, но имеет значение для возможности прогноза изменения контактных нагрузок в системе. В работах НИИ горной механики им. М.М. Федорова, выполненных под руководством профессора В.И. Дворникова, установлено, что при расчете безопасных параметров работы подъемов необходимо ориентироваться на максимально возможные нагрузки в системе «сосуд-армировка» [9]. Эти нагрузки по своему уровню в зависимости от износа проводников и расстрелов на локальных участках ствола могут быть безопасными, потенциально опасными или аварийно опасными для прочности элементов армировки и, кроме того, представлять опасность разрушения для рамы и корпуса подъемного сосуда [10].

При количестве подъемов 300-400 в сутки накопление усталостных повреждений, трещины по сварным швам проводников и нарушение узлов крепления проводников к расстрелам за короткое время могут привести к их ускоренному разрушению (случай внезапного разрушения проводников или корпуса сосуда во время движения достаточно хорошо известны из прошлой и современной практики эксплуатации подъемов).

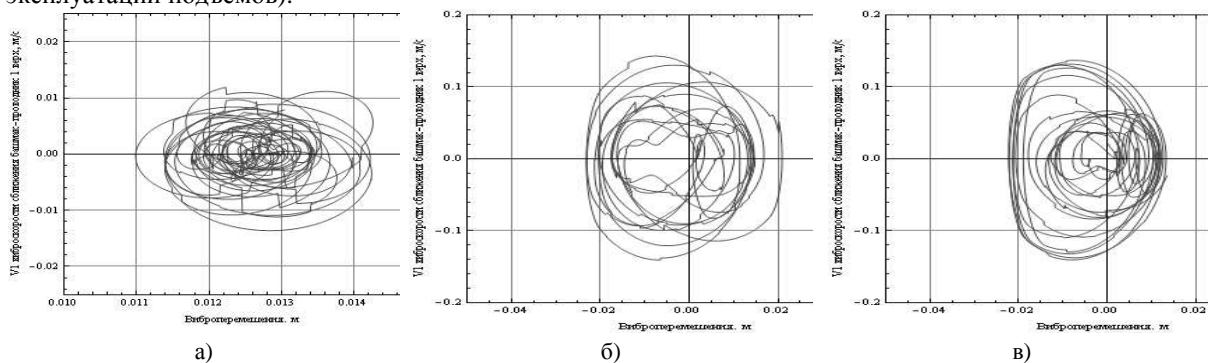


Рисунок 12 – Фазовые портреты колебаний башмаков: а) участок 0-50 сек; б) участок 85-100 сек, в) участок 100-130 сек

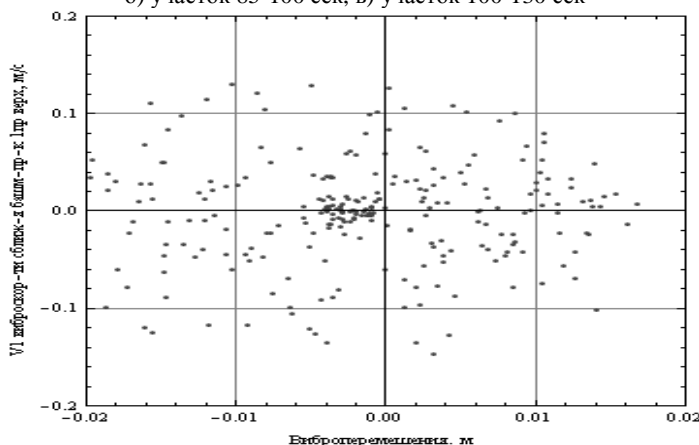


Рисунок 13 – Отображение Пуанкаре для колебаний скипа в течение цикла подъема

На рисунке 14 приведены диаграммы скорости движения скипа: фактическая (кривая 1) и сглаженная, с минимизацией рывка и сокращением времени цикла (кривая 2).

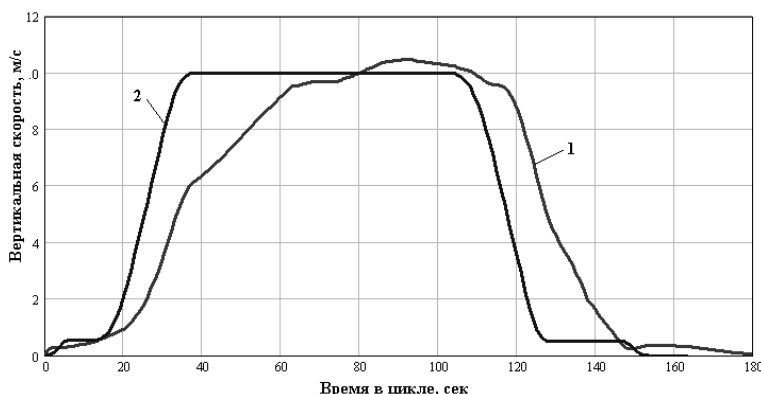


Рисунок 14 – Фактическая (кривая 1) и сглаженная (кривая 2) диаграммы скорости скипа

На рисунку 15 приведено графік контактних навантажень на армування при підйомі скипа по згладженій діаграммі швидкості з параметрами системи, відповідними варіанту, приведеному на рисунку 9.

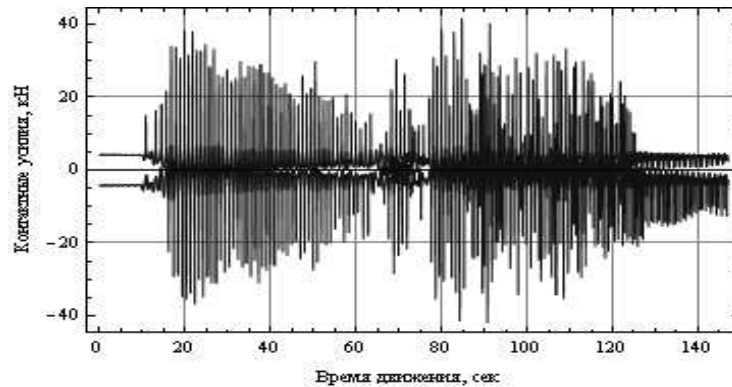


Рисунок 15 – Графік контактних навантажень на армування при підйомі по згладженій діаграммі швидкості

Видно, що при підйомі по ділянках компенсаторів, яким найбільше порушення вертикальності проводників, контактні навантаження в умовах згладженої діаграмми підйому практично в два рази менше, ніж аналогічні навантаження при фактичій діаграммі швидкості (75 кН при фактичій діаграммі, 40 кН при згладженій). При цьому внаслідок підйому по згладженій діаграммі з прискоренням розгону більшим, ніж в реальній діаграммі, з'являється ділянка ударного взаємодія скипа з проводниками, але рівень навантажень обмежений 40 кН.

На наступних рисунках представлені спектри коливань судна і спектри возмущень зі сторони проводників на породний скип при підйомі по фактичій і згладженій діаграммам швидкості (рисунку 14). Видно, що спектральні параметри системи змінюються в залежності від форми діаграмми швидкості підйому. Собственные частоти чисто пружинних коливань скипа в лобовій площині без урахування дисипації при жорсткості роликкоопору 220 кН/м рівні відповідно: 1-я - 0,75 Гц, 2-я - 1,27 Гц.

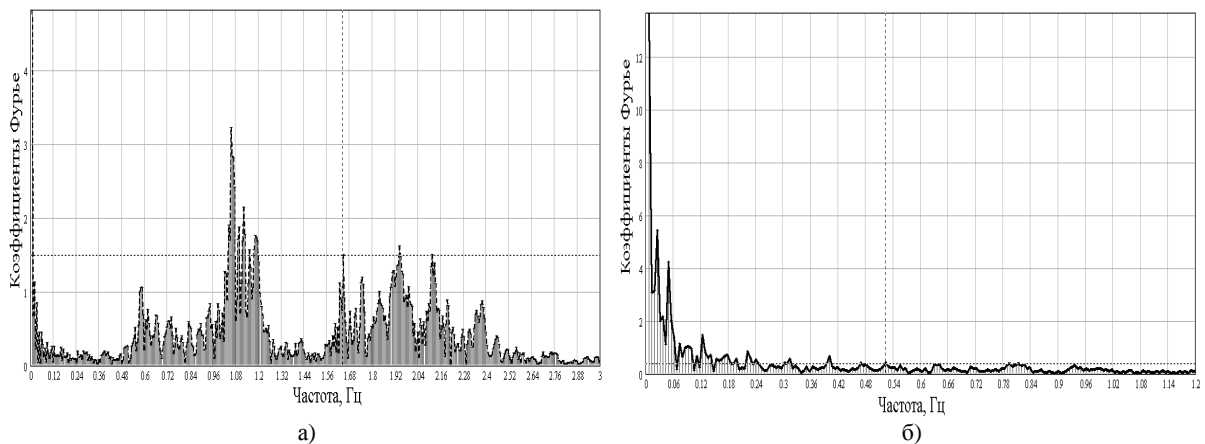


Рисунок 16 – Спектр коливань судна (а) і возмущень проводників (б) при підйомі по фактичій діаграммі швидкості (повний цикл підйому)

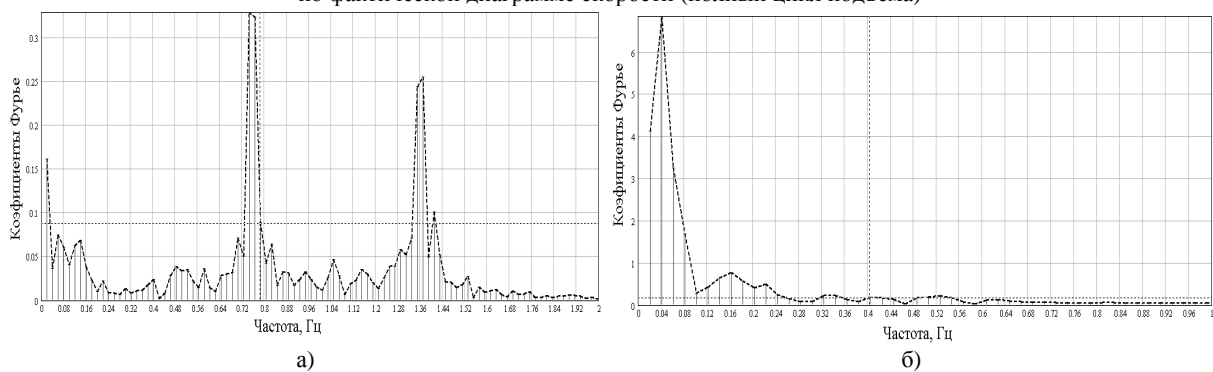


Рисунок 17 – Спектр коливань судна (а) і возмущень проводників (б) при підйомі по фактичій діаграммі швидкості (ділянка безударного взаємодія 10-50 сек підйому)

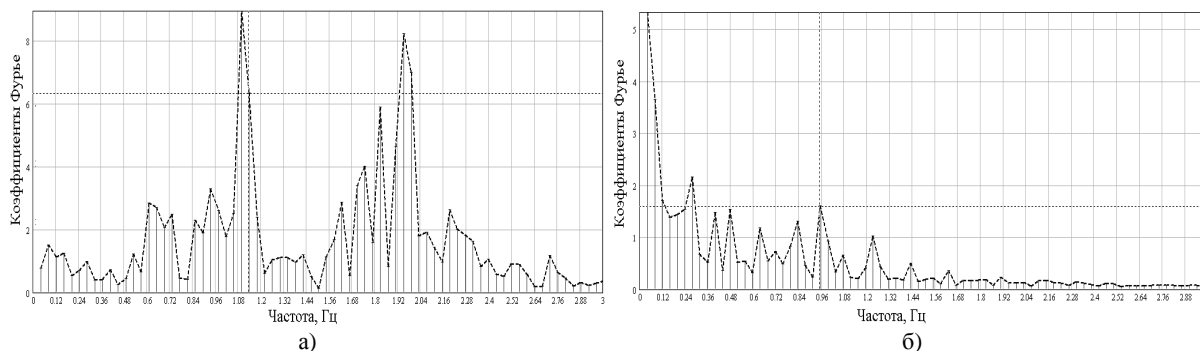


Рисунок 18 – Спектр колебаний сосуда (а) и возмущений проводников (б) при подъеме по фактической диаграмме скорости (участок ударного взаимодействия 80-100 сек подъема)

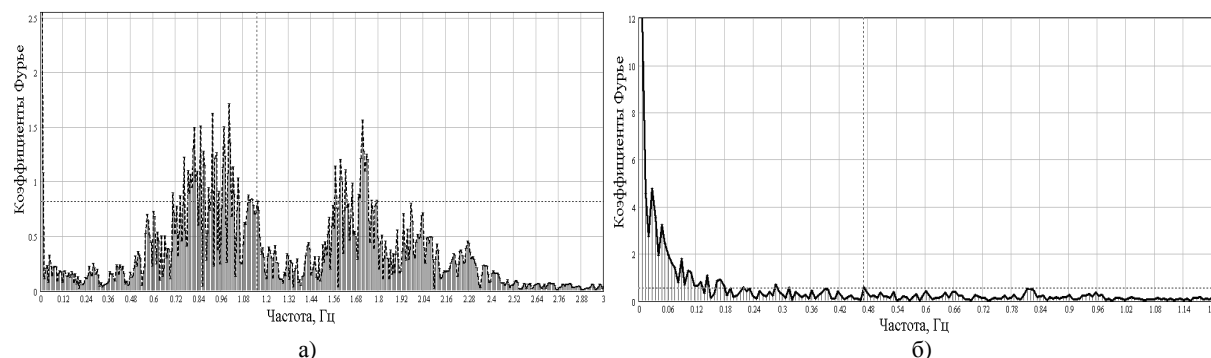


Рисунок 19 – Спектр колебаний сосуда (а) и возмущений проводников (б) при подъеме по сглаженной диаграмме скорости (полный цикл подъема)

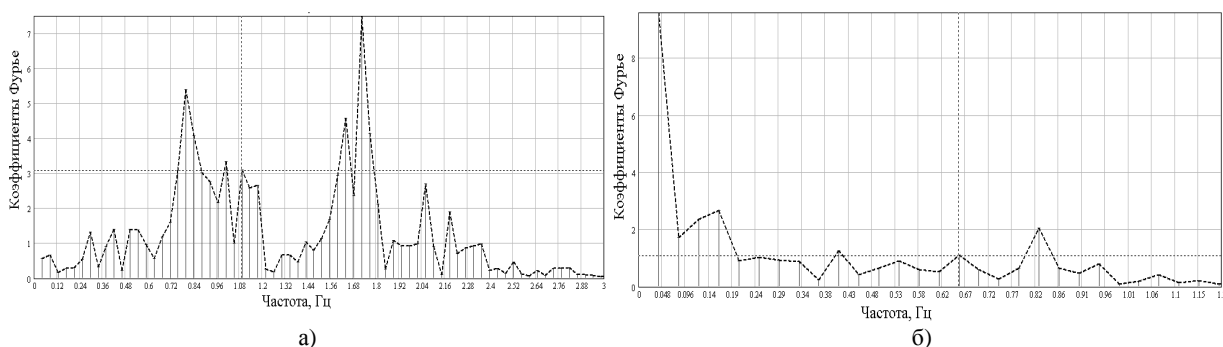


Рисунок 20 – Спектр колебаний сосуда (а) и возмущений проводников (б) при подъеме по сглаженной диаграмме скорости (участок ударного взаимодействия 80-100 сек подъема)

При значительных, хотя и низкочастотных отклонениях проводников от вертикали, за счет большой инерционности скипа проводники инициируют жесткие соударения с башмаками и в системе возбуждается ударный процесс, дальнейшее развитие которого определяется формой диаграммы скорости подъема сосуда по участку проводников и формой их локальных искривлений на ярусах. При этом в спектрах колебаний сосуда на участках соударений (рисунки 18 – 20) появляется интенсивная удвоенная частота, что может являться признаком перехода системы в хаотический режим.

Изложенные результаты говорят о наличии реальной возможности управления параметрами динамического взаимодействия сосудов с проводниками и техническими параметрами элементов армировки (запасами прочности, усталостными повреждениями под действием эксплуатационных нагрузок и повышенного износа металлоконструкций) посредством изменения настройки системы управления скоростью вращения барабана подъемной машины.

Такая ситуация требует разработки научно обоснованных мероприятий, снижающих максимальные нагрузки до безопасного уровня в условиях неопределенности исходных параметров и сложности характера динамических процессов в системе.

**Выводы:** колебания скипа при ударном взаимодействии с проводниками жесткой армировки имеют поличастотный хаотический характер; смещение центра масс груза в кузове скипа в технологически возможных пределах вызывает на участках ствола с нарушенной вертикальностью проводников рост динамических нагрузок на армировку до 3-5 раз; для снижения негативного влияния

смещения груза в скипе на динамическую нагруженность армировки необходима разработка специальных мероприятий, обеспечивающих максимально равномерное по горизонтали заполнение кузова и центровку сосуда относительно вертикали. Для клетевых подъемов необходимо обеспечение центровки груза относительно оси подвеса сосуда и работа машины с минимизацией вертикальных рывков при движении и маневрах; специальное сглаживание диаграммы скорости подъема с минимизацией рывка даже при смещенном грузе в скипе позволяет снизить динамические нагрузки на армировку до 2-х раз на одних и тех же участках ствола с нарушенной вертикальностью проводников.

#### **Библиографический список использованной литературы**

1. Ильин С.Р. Влияние параметров диаграмм скорости вращения подъемных машин на динамические усилия в канатах и усталостные явления в элементах армировки ствола / С.Р. Ильин // Стальные канаты. Экология. — Одесса, 2010. — № 8. — С. 30–61.
2. Ильин С.Р. Комплексные экспериментальные исследования динамики скипов рудоподъемного ствола / С.Р. Ильин, Г.Д. Трифанов, С.В. Воробель // Горное оборудование и электромеханика. — 2011. — № 5. — С. 30–35.
3. Воробель С.В. Влияние диаграммы скорости на динамические нагрузки в системе "подъемный сосуд – жесткая армировка" и деформацию рамы подъемного сосуда / С.В. Воробель, Г.Д. Трифанов // Горное оборудование и электромеханика. — 2011. — № 12. — С. 16–19.
4. Ильин С.Р. Об устойчивости движения грузов в упругих проводниках при пространственном расположении точек крепления канатов для многоканатного подъема / С.Р.Ильин // Publ. Techn. Univ. Heavy Ind. — Miskolc, 1981. — Ser. A. — Vol. 35. Fasc. 3-4. — P. 197–204.
5. Самуся В.И. Динамическая устойчивость взаимодействия сосуда с проводниками гибкой армировки многоканатной подъемной установки в режиме торможения / В.И. Самуся, И.С. Ильина // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины. — Дн-ск, 2004. — № 50. — С. 179–187.
6. Ильин С.Р. Разработка и обоснование общей диагностической модели оборудования шахтных подъемных установок / С.Р.Ильин // ИГТМ НАН Украины. Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. — Днепропетровск, 2008. — Вып. 76. — С. 44–63.
7. Ильин С.Р. Оптимизация цикла спуска/подъема двухконцевой скиповой установки с бицилиндроконической подъемной машиной / С.Р. Ильин, Ю.В. Михлин, С.М. Решетникова // Вестник СевНТУ. Сер. Механика, энергетика, экология: сб. науч. тр. — Севастополь, 2011. — Вып. 120. — С. 41–49.
8. Мун Ф. Хаотические колебания / Ф. Мун. — М: Мир, 1990. — 154 с.
9. Методика расчета жестких армировок вертикальных стволов шахт // Минуглепром СССР, НИИ горной механики им. М.М. Федорова. — Донецк, 1985. — 145 с.
10. 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.

*Поступила в редакцию 22.02.2012 г.*

#### **Ильин С.Р. Складні полічастотні коливання в динамічних системах «піднімальна посудина – армировка» шахтних стовбурів**

Проаналізовано ударно-коливальні режими взаємодії скіпів шахтних піднімальних установок із провідниками твердого армування. Визначено режими взаємодії посудин з армуванням у промислових умовах.

**Ключові слова:** шахтна піднімальна установка, армування шахтних стовбурів, динаміка армування.

#### **P'in S. Complex difficult polyfrequency oscillations in dynamic systems «lifting vessel - armor» of mine barrels**

Shock-swaying modes of co-operation of skips of the mine lifting's settings with the explorers of hard armor. The modes of co-operation of vessels are certain with an armor pilot-scale.

**Keywords:** mine lifting setting, armor of mine barrels, dynamics of armor.