

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОДНОМАССНОЙ СИСТЕМЫ С
УПРУГИМИ ОГРАНИЧИТЕЛЯМИ НА ХАРАКТЕР ЕЕ КОЛЕБАНИЙ**

У статті розглянуто одномасну систему з пружними обмежувачами. Побудовано області існування різних режимів коливань системи, а також визначено вплив параметрів системи на межі цих областей.

**INFLUENCE OF ONE-MASS SYSTEM PARAMETERS WITH
ELASTIC CONSTRAINTS ON MODES OF ITS OSCILLATIONS**

A one-mass system with elastic constraints is studied. Areas of existing of different oscillation modes are built. Also an influence of system parameters on limits of these areas is determined.

Для переработки минерального сырья и отходов углеперерабатывающей промышленности широкое применение находят вибрационные грохоты. Однако, при работе с тонкими классами крупности могут возникать сложности, связанные с забиванием ячеек ситовой поверхности. В связи с этим, разрабатываются вибрационные поличастотные грохоты, которые позволяют эффективно осуществлять переработку минерального сырья такой крупности [1].

Основной задачей при проектировании вибрационного поличастотного грохота является выбор его параметров, при которых процесс разделения и обезвоживания тонких фракций минерального сырья будет происходить наиболее эффективно. Для осуществления этой задачи используется метод математического моделирования. Система, моделирующая вибрационный грохот, является существенно нелинейной вследствие наличия односторонних связей. Кроме того, система содержит большое количество параметров, что приводит к затруднению исследования модели поличастотного грохота. Поэтому целесообразно использовать иерархию упрощенных моделей, которая заключается в том, что вначале исследуется базовая модель, а затем результаты ее исследования переносятся на более сложные системы. В данном случае такой базовой моделью будет одномассная система с упругими ограничителями, приведенная на рис. 1.

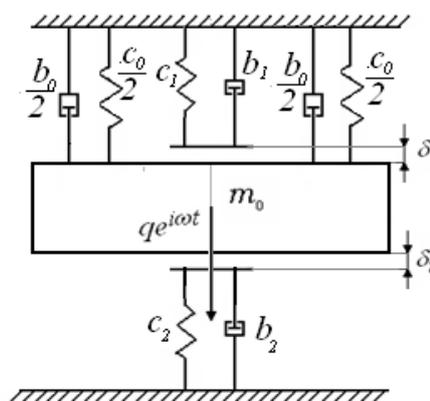


Рис. 1 - Одномассная система с упругими ограничителями

Система состоит из массы m_0 , закрепленной на пружине с жесткостью c_0 и вязкостью b_0 , и двух упругих ограничителей (верхнего и нижнего) с жесткостями c_1 и c_2 , вязкостями b_1 и b_2 , установленных с зазорами δ_1 и δ_2 соответственно. К массе приложена гармоническая возбуждающая сила $qe^{i\omega t}$.

Уравнение движения данной системы имеет вид:

$$m_0\ddot{x} + b_0\dot{x} + c_0x + (b_1\dot{x} + c_1(x - \delta_1))H(x - \delta_1) + (b_2\dot{x} + c_2(x - \delta_2))H(\delta_2 - x) = qe^{i\omega t}, \quad (1)$$

где x – перемещение массы m_0 ; $H(\cdot)$ – функция Хевисайда; t – время.

Таким образом, поведение системы зависит от 10 параметров: m_0 , c_0 , b_0 , c_1 , c_2 , b_1 , b_2 , δ_1 , δ_2 , ω . Большое количество параметров существенно осложняет исследование поведения системы. Поэтому целесообразным является переход от размерных к безразмерным параметрам:

$$u = x \frac{c_0}{q}; \tau = \omega t; \beta_1 = \frac{b_1}{b_0}; \beta_2 = \frac{b_2}{b_0}; \gamma_1 = \frac{c_1}{c_0}; \gamma_2 = \frac{c_2}{c_0}.$$

Тогда уравнение движения (1) примет вид:

$$\ddot{u} + \frac{\beta_0}{\gamma_0}\dot{u} + \frac{1}{\gamma_0^2}u + \left(\beta_1 \frac{\beta_0}{\gamma_0}\dot{u} + \frac{\gamma_1}{\gamma_0^2}(u - \varphi_1) \right) H(u - \varphi_1) + \left(\beta_2 \frac{\beta_0}{\gamma_0}\dot{u} + \frac{\gamma_2}{\gamma_0^2}(u - \varphi_2) \right) H(\varphi_2 - u) = \frac{1}{\gamma_0^2}e^{i\tau},$$

где $\beta_0 = b_0/\sqrt{m_0c_0}$; $\gamma_0 = \sqrt{\omega^2 m_0/c_0}$; $\varphi_1 = \delta_1 c_0/q$; $\varphi_2 = \delta_2 c_0/q$.

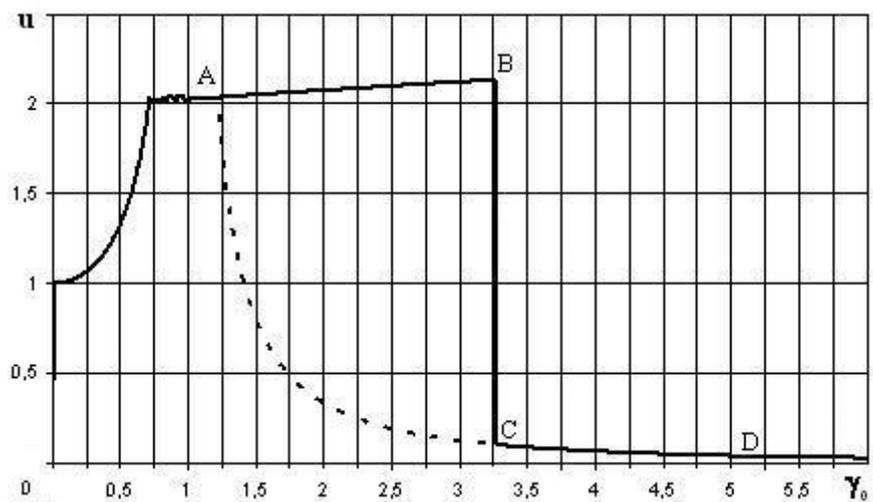
Таким образом, количество параметров системы уменьшилось до 8. Для дальнейшего упрощения будем рассматривать симметричную систему, которая характеризуется пятью параметрами: β_0 – приведенным коэффициентом демпфирования двухсторонней связи; $\beta_1 = \beta_2$, $\gamma_1 = \gamma_2$, $\varphi_1 = \varphi_2$ – соответственно приведенными коэффициентами демпфирования, жесткости и начальными зазорами односторонних связей, γ_0 – приведенной частотой внешнего возбуждения.

Поскольку одномассовая модель в дальнейшем станет основой для исследования математической модели вибрационного поличастотного грохота, то целесообразным является выбор диапазонов изменения безразмерных параметров модели из возможных диапазонов изменения параметров грохота. Методика проведения расчетов подробно описана в [2].

Целью данного исследования является установление режимов колебаний, которые могут осуществляться в одномассной системе с упругими ограничителями (рис. 1), а также исследование влияния параметров системы на облас-

ти существования режимов колебаний.

Для этого рассмотрим зависимость амплитуды приведенных перемещений от приведенной частоты (рис. 2). При этом, $\varphi_1=2$, $\gamma_1=1000$, $\beta_0=0,1$, $\beta_1=1$.



——— при увеличении частоты; ----- при уменьшении частоты

Рис. 2 - Зависимость амплитуды приведенных перемещений от приведенной частоты

Как видно из рисунка, при постепенном увеличении приведенной частоты амплитуда приведенных перемещений после достижения значения 2, что соответствует началу режима колебаний с ударами, продолжает расти и после достижения значения $\gamma_0=1$, т.е. при значении приведенной частоты, большем, чем частота свободных колебаний системы без односторонних связей и демпфирования. Рост продолжается до точки В, в которой происходит срыв режима колебаний с ударами. При уменьшении приведенной частоты, (движение по кривой от точки D влево) режим колебаний с ударами наступает только при достижении точки А, т.е. в тот же момент, когда в системе без упругих ограничителей достигается амплитуда, равная величине зазора. Иными словами, кривая на рис.2, соответствующая зависимости амплитуды приведенных перемещений при уменьшении приведенной частоты, совпадает с зависимостью приведенной амплитуды от приведенной частоты без упругих ограничителей. Таким образом, из рис. 2 можно сделать вывод об увеличении амплитуды колебаний массы при наличии виброударного режима по сравнению с безударным режимом колебаний.

Теперь рассмотрим зависимость амплитуды приведенных перемещений от приведенных зазоров (рис. 3). При этом, $\gamma_0=2$, $\gamma_1=1000$, $\beta_0=0,1$, $\beta_1=1$.

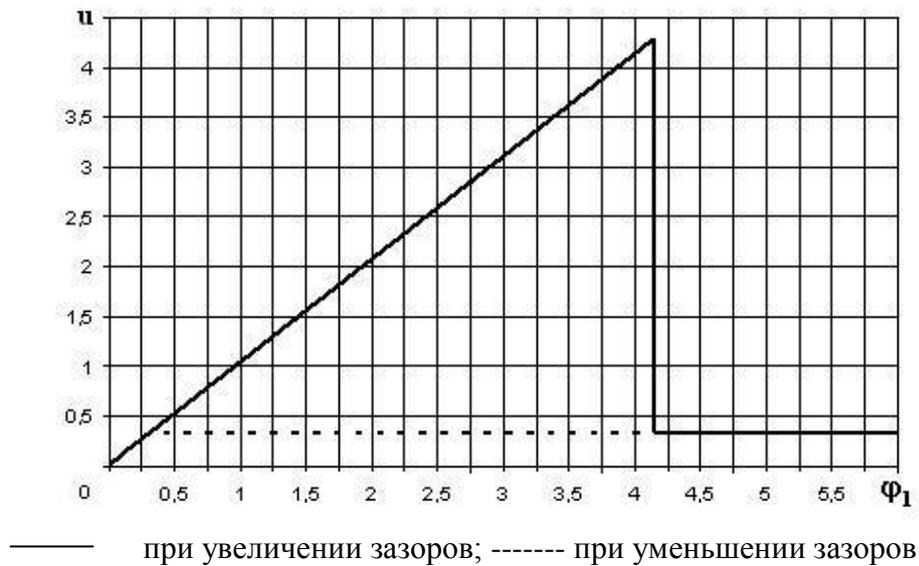


Рис. 3 - Зависимость амплитуды приведенных перемещений от приведенных зазоров

Из графика видно, что при постепенном увеличении зазоров амплитуда приведенных перемещений растет до определенного момента, при этом в системе наблюдается режим колебаний с ударами. Затем происходит срыв колебаний, и значение амплитуды становится равным значению для системы без упругих ограничителей. Если же после срыва начать уменьшать приведенный зазор, то виброударный режим начнется только при достижении величиной φ_1 значения приведенной амплитуды для системы без упругих ограничителей.

Таким образом, из приведенных зависимостей можно сделать вывод, что в определенных областях режим колебания одномассной системы с упругими ограничителями зависит от начальных условий по γ_0 и φ_1 . Для установления границ этих областей была построена карта динамических режимов колебаний, приведенная на рис. 4. Здесь $\gamma_1 = 1000$, $\beta_0 = 0,1$, $\beta_1 = 1$.

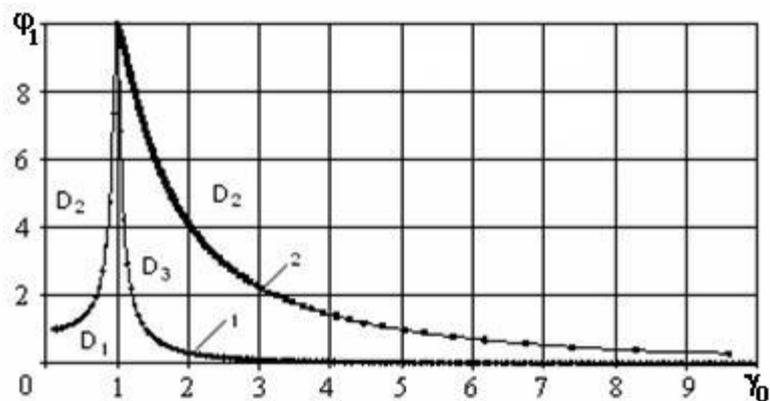


Рис. 4 - Карта динамических режимов при $\gamma_1 = 1000$, $\beta_0 = 0,1$, $\beta_1 = 1$

Кривая 1 здесь соответствует амплитуде перемещений системы без упру-

гих ограничителей. Кривая 2 состоит из точек срыва режимов колебаний с ударами при увеличении приведенной частоты. Следует отметить, что точки кривой 2 также соответствуют точкам срыва виброударных режимов при увеличении приведенных зазоров. Область D_1 соответствует режиму колебаний с ударами, при этом данный режим будет осуществляться вне зависимости от начальных условий по γ_0 и φ_1 . Область D_2 соответствует безударному режиму колебаний. Для этой области также характерна независимость от начальных условий по γ_0 и φ_1 . Область D_3 характеризуется возможностью существования режимов колебания как с ударами, так и без в зависимости от начальных условий по γ_0 и φ_1 . Следует отметить, важное для практических приложений свойство режима колебаний с ударами. Если в некоторой точке пространства параметров существует режим колебаний с ударами, например, в области D_1 , то при непрерывном изменении параметров системы или дискретном изменении с небольшим шагом виброударный режим сохраняется до тех пор, пока траектория изменения параметров не попадет в область D_2 .

Рассмотрим теперь зависимость амплитуды приведенных перемещений от приведенной жесткости односторонних связей (рис 5). Исходя из результатов, полученных выше, значения для γ_0 и φ_1 были выбраны таким образом, чтобы начальная точка траектории изменения параметров находилась в области D_1 . Таким образом, $\gamma_0 = 1,5$, $\varphi_1 = 0,5$, $\beta_0 = 0,1$, $\beta_1 = 1$.

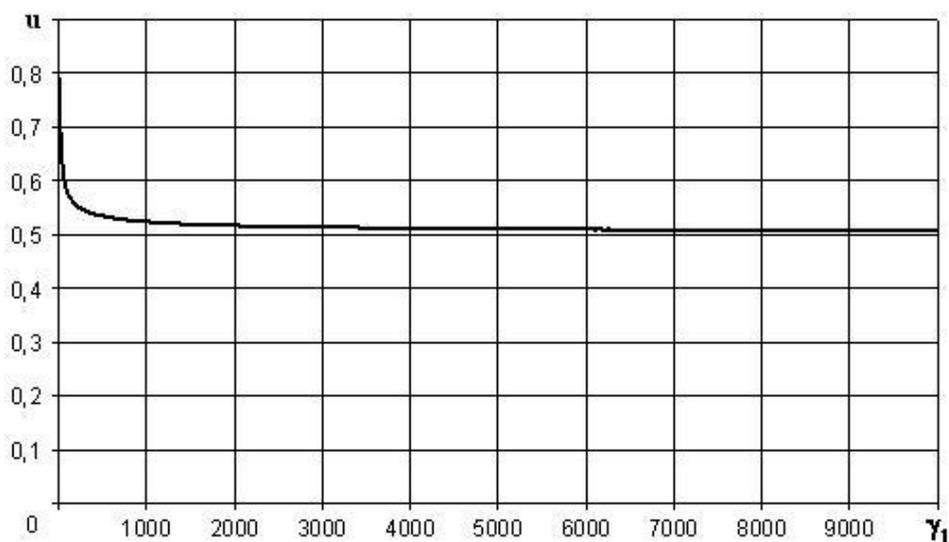


Рис. 5 - Зависимость амплитуды приведенных перемещений от приведенной жесткости односторонних связей

Исходя из приведенной на рис 5 зависимости, можно сделать вывод, что увеличение жесткости приводит к уменьшению амплитуды приведенных перемещений. При этом наиболее заметной эта зависимость является при $\gamma_1 < 1000$. Также, из данного графика можно сделать вывод, что во всем исследуемом диапазоне сохраняется режим колебаний с ударами.

Теперь необходимо исследовать влияние γ_1 на точки срыва виброударных режимов. На рис. 6 приведена карта динамический режимов, построенная в координатах $\gamma_0, \lg \gamma_1$.

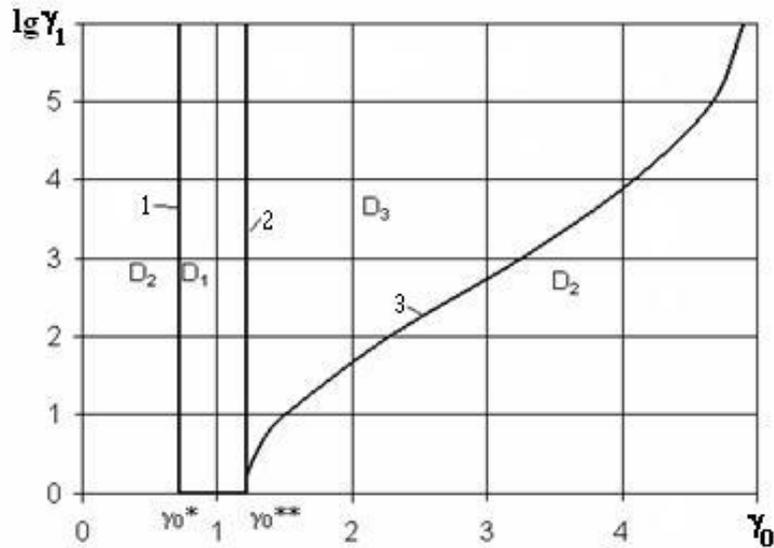


Рис. 6 – Карта динамических режимов при $\beta_0 = 0,1, \beta_1 = 1, \varphi_1 = 2$

Из графика на рис. 6 следует, что существует область значений $\gamma_0 < \gamma_0^*$, при которых вне зависимости от значения γ_1 будет осуществляться безударный режим. При $\gamma_0^* < \gamma_0 < \gamma_0^{**}$ вне зависимости от γ_1 режим колебаний будет с ударами. При $\gamma_0 > \gamma_0^{**}$ приведенная частота, при которой будет наблюдаться срыв, растет с увеличением γ_1 . Значения γ_0^* и γ_0^{**} являются точками, ограничивающими область D_1 на рис 4 при заданном зазоре слева и справа соответственно. Таким образом, для расширения области D_3 можно увеличивать приведенную жесткость односторонних связей, однако, из карты на рис. 6 следует, что целесообразно увеличивать γ_1 до значения 100 000. Дальнейшее увеличение γ_1 к значительному расширению области D_3 не приведет.

На рис. 7 приведена карта динамических режимов, построенная в координатах $\varphi_1, \lg \gamma_1$.

Карта, представленная на рис. 7, свидетельствует о том, что область, соответствующая $\varphi_1 < \varphi_1^*$ является областью D_1 . Само же значение φ_1^* соответствует точке кривой 1 на рис 4 для заданной γ_0 . При $\varphi_1 > \varphi_1^*$ в зависимости от γ_1 область будет либо D_2 , либо D_3 . При этом, увеличение φ_1 приводит к расширению области D_3 . Другими словами, как и в предыдущем случае, расширения области D_3 можно добиться путем увеличения γ_1 . Однако в данном случае это целесообразно делать до значения $\gamma_1 = 10\ 000$.

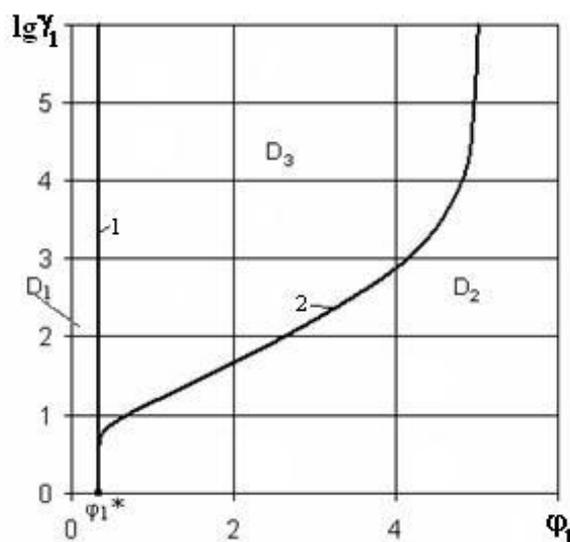


Рис. 7 – Карта динамических режимов при $\beta_0 = 0,1$, $\beta_1 = 1$, $\gamma_0 = 2$

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

- одномассная система с упругими ограничителями (рис.1) может осуществлять колебания как в виброударном, так и в безударном режимах;
- режим колебаний зависит от комбинации параметров системы;
- помимо областей, в которых режим колебаний определяется параметрами системы однозначно (D_1 и D_2), существуют области, в которых возможны как виброударный, так и безударный режим (D_3). Появление того или иного режима в таких областях зависит от начальных условий, в том числе по параметрам $\gamma_0, \varphi_1, \gamma_1$;
- работа в виброударном режиме позволяет повысить амплитуду колебаний по сравнению с безударным режимом;
- если в некоторой точке пространства параметров существует виброударный режим, то он сохраняется до тех пор, пока траектория изменения параметров не попадет в область D_2 ;
- увеличение γ_1 приводит к расширению области D_3 , однако существенным это расширение будет только в определенных пределах изменения γ_1 .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шевченко, Г.А. Обоснование параметров колебаний сит поличастотных вибрационных грохотов / Г.А. Шевченко, А.А. Бобылёв, М.А. Ищук // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 5. – С. 64 – 71.
- Шевченко, Г.А. Исследования режимов колебаний виброударного осциллятора / Г.А. Шевченко, А.А. Бобылёв, М.А. Ищук // Вібрації в техніці та тахнологіях. – Полтава, 2012. – №. 1 (65). – С. 56 – 59.

**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОТРАНСПОРТА
ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ГИДРОСМЕСЕЙ
В УСЛОВИЯХ ПРЕДПРИЯТИЙ КРИВБАССА**

Для технології складування на підприємствах Кривбасу відходів збагачення, згущених до концентрації пасти, запропоновано методики розрахунків параметрів та режимів роботи/ гідротранспортних установок з урахуванням гідравлічних та реологічних характеристик.

**CALCULATION OF HIGH CONCENTRATION SLURRIES
HYDROTRANSPORT PARAMETERS IN CONDITIONS OF KRIVBAS
ENTERPRISES**

The methods of calculation of parameters and regimes of hydrotransport plants operation for technology of stocking of cleaning rejects condensed till paste concentration at Krivbas enterprises taking into account hydraulic and rheological characteristics are offered.

Днепропетровская область – крупный промышленный регион, в котором сосредоточены предприятия металлургической, химической и машиностроительной отраслей промышленности, расположенный на пересечении водных путей, железнодорожных и автомобильных магистралей, направленных к месторождениям каменных углей и железной руды. Металлургические заводы, коксохимические комбинаты и тепловые электростанции являются крупнейшими потребителями воды, основного экологического ресурса планеты, а также, основными источниками загрязнения водного бассейна региона. Несмотря на использование на таких предприятиях замкнутых циклов водоснабжения, проблема аккумулирования жидких отходов остается для них актуальной и острой. Особенно актуальным это является для горнообогатительных комбинатов (ГОК) Кривбасса, большая часть которых заканчивает эксплуатацию хранилищ отходов, построенных в 60 – 70 годы прошлого столетия. Дальнейшее развитие региона во многом определяется промышленным потенциалом этих предприятий, поскольку они, с одной стороны, являются потребителями угля, железной руды и прочих ресурсов, чем обеспечивают работоспособность отечественных предприятий, а с другой стороны, выпускают продукцию, потребителями которой являются многие предприятия страны.

Одним из факторов, сдерживающих повышение производительности ГОКов Кривбасса, а в некоторых случаях и угрожающих им полной остановкой, является недостаточный объем хранилищ, что во многом обусловлено особенностями складываемых отходов обогащения. Химический состав жидкой фазы и гранулометрический состав твердой фазы отходов ГОКов Кривбасса, а также тот факт, что концентрация транспортируемых суспензий не превышает 5 % по массе, требуют значительных объемов хранилищ. Ввиду солидных сроков эксплуатации существующих хранилищ, а также невозможности