

УДК 622.81.004.68

*Хворост В.В., асс., Криворожский национальный университет, Кривой Рог, Украина***АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ НА ПОВЕРХНОСТИ ШАХТ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДА НА ОБЛЕГЧЕННЫЕ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ.**

Выполнен анализ работы конструкций пролетных строений на поверхности горнодобывающих предприятий Кривбасса при условии перехода на облегченные ограждающие конструкции

**Проблема и ее связь с практическими задачами.** По результатам экспертной оценки технического состояния пролетных строений в комплексе зданий и сооружений шахт на действующих горнодобывающих предприятиях, 50 % галерей, которые прослужили 40 и более лет, требуют выполнения ремонтно-восстановительных работ, а около 30% - дорогостоящей замены.

На приведенной гистограмме (рис. 1) представлен анализ обследования технического состояния 123 пролетных строений на горнодобывающих предприятиях Криворожского бассейна.

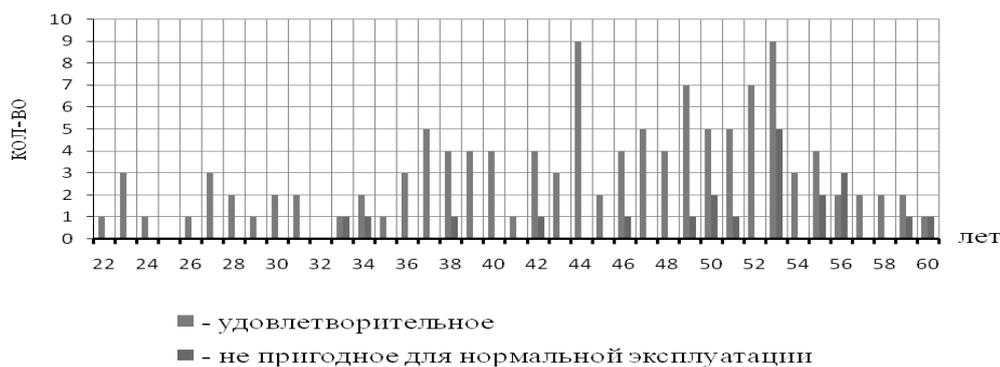


Рисунок 1 – Техническое состояние пролетных строений

Из анализа приведенной гистограммы следует сделать следующие выводы. Большинство пролетных строений, эксплуатируемых на горнодобывающих предприятиях, имеют срок службы от 35 до 55 лет. Различный срок службы пролетных строений, эксплуатируемых на предприятиях отрасли, обусловлен существенным отличием условий эксплуатации. Она зависит от агрессивности шахтной среды и многих других факторов. Пролетные строения, прослужившие указанный срок, имеют значимые дефекты и нарушения, требуют ремонта или полной замены.

**Постановка задачи.** При работе конвейера пролетные строения галереи испытывают динамические воздействия вследствие перемещения подвижных частей оборудования. Движение ветвей ленты и груза, а также вращение роликов вызывают колебания пролетного строения в вертикальной плоскости.

Среднее значение частоты динамического возмущения от конвейера  $\omega$ , рад/с, определяется по формуле:

$$\omega = \frac{2v}{d_p}, \quad (1)$$

где  $v$  – скорость движения ленты, м/с;  $d_p$  – диаметр роликов.

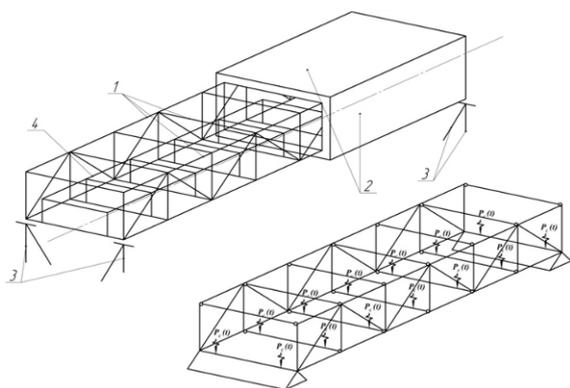


Рисунок 2 – Схема приведения пролетного строения галереи к расчетной модели  
 а – пространственная схема конструкций; б – динамически эквивалентная расчетная модель-схема; 1, 2 – несущие и ограждающие конструкции пролетного строения; 3 – опоры пролетного строения; 4 – станина (рама) конвейера

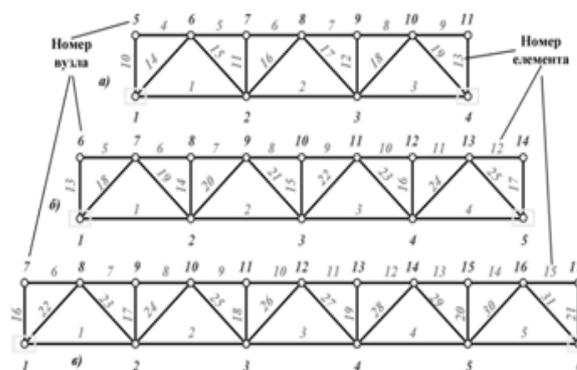


Рисунок 3 – Расчетные схемы ферм пролетных строений транспортных галерей

Динамическая нагрузка увеличивает суммарную статическую нагрузку на пролетное строение не более чем на 2%. Поэтому влияние динамического воздействия от конвейера становится ощутимым только при близости частоты вынужденных колебаний  $\omega$  к первой частоте  $\theta_1$  свободных колебаний, то есть при режимах, близких к резонансу.

Область  $(\theta_1', \theta_1'')$  значений первой частоты  $\theta_1$ , свободных колебаний пролетного строения, учитывающая возможность изменения его массы временными нагрузками и погрешности определения величины называется первой резонансной зоной, а величины  $\theta_1' = 0.9\theta_{1\min}$ ,  $\theta_1'' = 1.1\theta_{1\max}$  - ее нижней и верхней границами.

Если среднее значение частоты возмущения  $\omega$  попадает в первую резонансную зону, то есть выполняется условие  $\theta_1' \leq \omega \leq \theta_1''$ , может реализоваться резонансный режим.

Частота свободных колебаний пролетного строения при расчете по плоской схеме определяется зависимостью:

$$\theta = \alpha \frac{\beta}{l} \sqrt{\frac{Ehq_1}{R_0q_2}}, \quad (2)$$

где  $\alpha$  - коэффициент, принимаемый равным: для галерей с расположением транспортера по низу ферм 9, а по верху – 10.5;

$\beta$  - коэффициент, принимаемый равным единице при расчете среднего пролетного строения и по монограмме - крайнего пролетного строения с консолью;

$q_1$  - расчетный вес пролетного строения со всеми нагрузками, имеющих массу, за исключением нагрузок от толпы, просыпи и деталей;

$q_2$  - расчетный вес пролетного строения со всеми временными нагрузками, обладающими массой;

$R_0, E$  - расчетное сопротивление и модуль упругости материала поясов главных ферм;

$l, h$  - расчетная высота и длина пролета главных ферм.

**Изложение материала и результатов.** На рудниках наибольшее распространение получили отопляемые транспортные галереи пролетами 18, 24 и 30 м серии ИС-01-15. Схема приведения пролетного строения галереи к расчетной модели представлена на рис. 2.

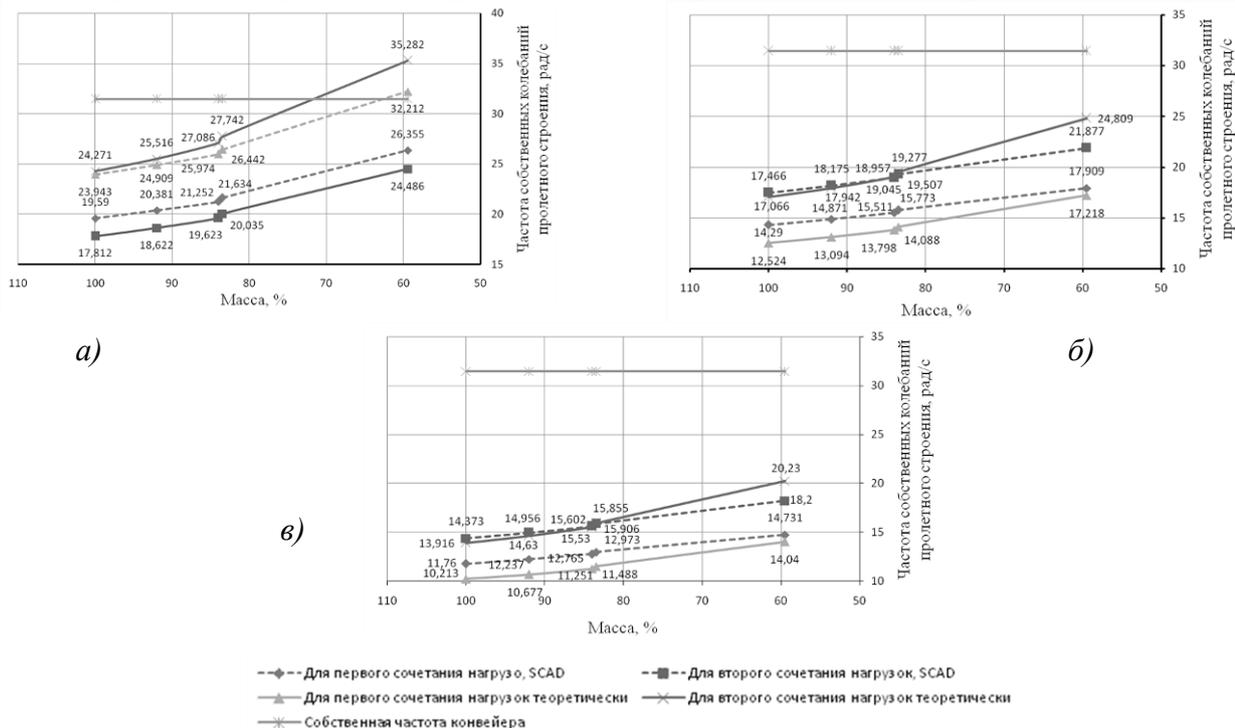


Рисунок 4 – Границы резонансных зон а) пролет 18 м; б) пролет 24 м; в) пролет 30 м

Теоретические исследования проводились в 4 этапа. На первом этапе в пролетных строениях галерей были произведена замена стенового ограждения, что соответствует уменьшению массы пролета на 8%; на втором – замена перекрытия, уменьшению массы пролета на 16%; на третьем – замена покрытия, уменьшению массы пролета на 16,5% и на четвертом была произведена замена всех ограждающих конструкций, что соответствует уменьшению массы пролета на 40,5%. По полученным данным были построены графики рабочих частот представленных на рис. 4. Из графиков видно, что для пролета длиной 18 м резонанс реализуется при полной замене ограждающих конструкций, а для пролета 24 и 30 м резонанс не возможен даже при полной замене ограждающих конструкций на облегченные.

Дальнейшие исследования было выполнено с помощью компьютерного моделирования.

В расчете приняты три плоских расчетных схемы:

- с длиной пролета 18 м (узлов 11, конечных элементов 19) – см. рис. 3;
- с длиной пролета 24 м (узлов 14, конечных элементов 25) – см. рис. 3;
- с длиной пролета 30 м (узлов 17, конечных элементов 31) – см. рис. 3;

В основу расчета положен метод конечных элементов с использованием в качестве основных неизвестных перемещений и поворотов узлов расчетной схемы. В связи с этим идеализация конструкции выполнена в форме, приспособленной к использованию этого метода, а именно: система представлена в виде набора тел стандартного типа (стержней), называемых конечными элементами и присоединенных к узлам.

Таким образом, сопоставление значений частоты вынужденных колебаний  $\omega$  с резонансным диапазоном, можно сделать вывод о том, что попадание в резонанс для пролетов 24 и 30 м нет (рис. 4). В тоже время резонанс имеет место быть в пролете галереи длиной 18 м при замене всех ограждающих конструкций на облегченные.

В результате исследований с помощью компьютерного моделирования были построены графики зависимости частоты свободных колебаний пролетного строения галерей от массы ограждающих конструкций и получена неплохая сходимость с результатами теоретических расчетов по существующей методике с расхождением параметров до 10% (рис. 4).

Так как расчет по существующей методике и компьютерное моделирование подтвердило опасность попадания в резонанс только пролета длиной 18 м на нем и остановим свое внимание.

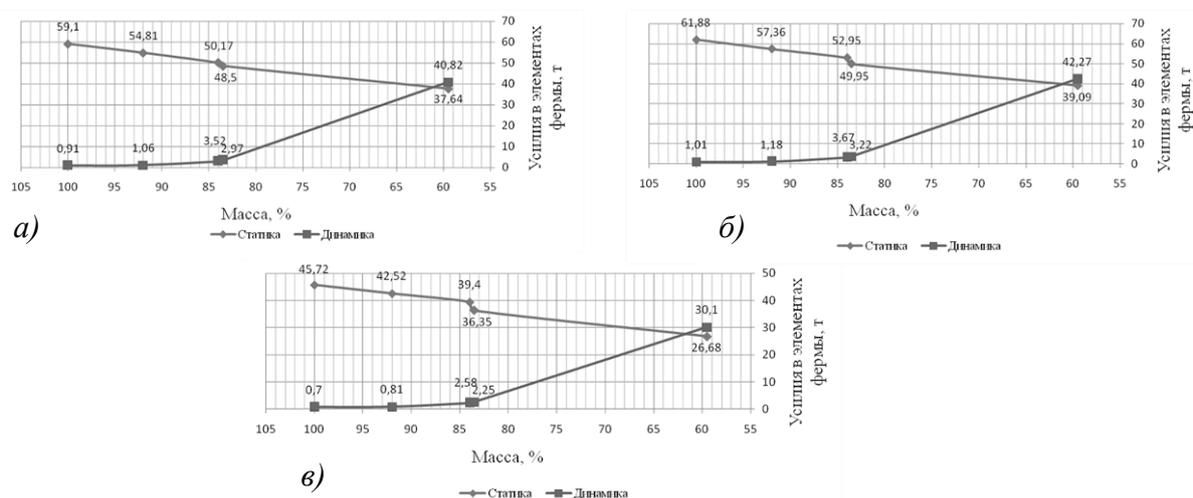


Рисунок 5 – Усилия в элементах фермы пролетного строения длиной 18 м от статической и динамической нагрузки а) верхний пояс; б) нижний пояс; в) опорный раскос

Как видно из графиков (рис. 4) с уменьшением массы пролетного строения частота свободных вертикальных колебаний возрастает, но как же это повлияет на внутренние усилия в элементах фермы мы можем проследить на рис. 5. Здесь прослеживается прямая зависимость внутренних усилий от частоты колебания и как видно из графиков (рис. 5) с увеличением частоты свободных вертикальных колебаний пролетного строения галерей усилия от статической нагрузки уменьшаются, а вот от динамической наоборот увеличивается при близости частоты вынужденных колебаний  $\omega$  к первой частоте  $\theta_1$  свободных колебаний, то есть при режимах, близких к резонансу.

По результатам компьютерного моделирования была выведена зависимость верхней и нижней границ резонансной зоны от сочетания статических нагрузок (рис. 6). Как видно из графиков (рис. 6) чем меньше статическая нагрузка тем выше значения резонансных зон.

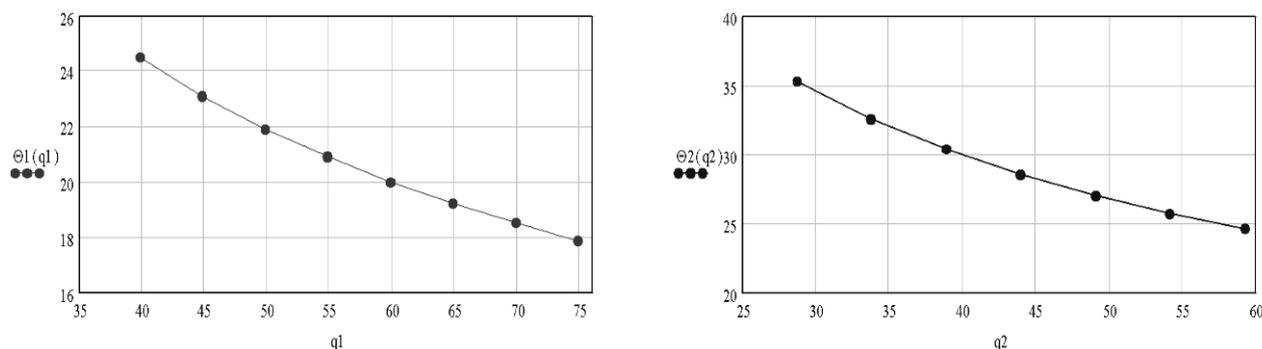


Рисунок 6 – Зависимость верхней и нижней границ резонансной зоны от сочетания нагрузок

С целью упрощения проверки попадания частоты возмущения  $\omega$  в первую резонансную зону мы ввели коэффициент  $K$  который учитывает влияние соотношения  $q_1/q_2$  на частоту собственных колебаний. По результатам проведенных исследований был построен график зависимости границ резонансных зон от коэффициента  $K$  (рис. 7).

$$\theta = \alpha \frac{\beta}{l} \sqrt{\frac{EhK}{R_0}} \quad (3)$$

Из графика (рис. 7) видно, что при коэффициенте  $K \approx 1.33$ , который соответствует облегчению общей массы пролета приблизительно на 37.6%, значение частоты вынужденных колебаний  $\omega$  попадает в первую резонансную зону, то есть возникает резонанс.

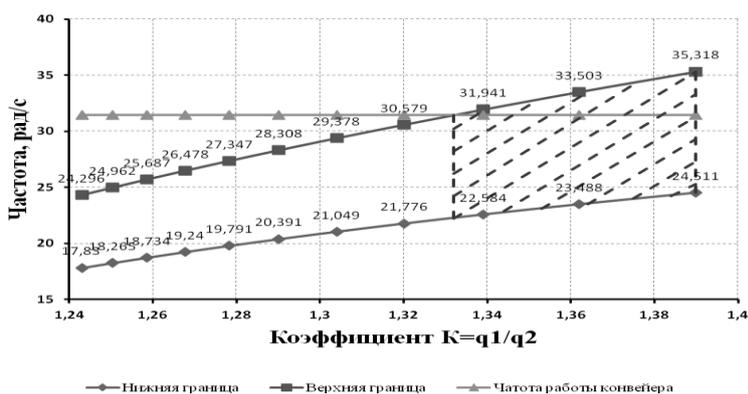


Рисунок 7 – Зависимость границ резонансной зоны от коэффициента  $K$

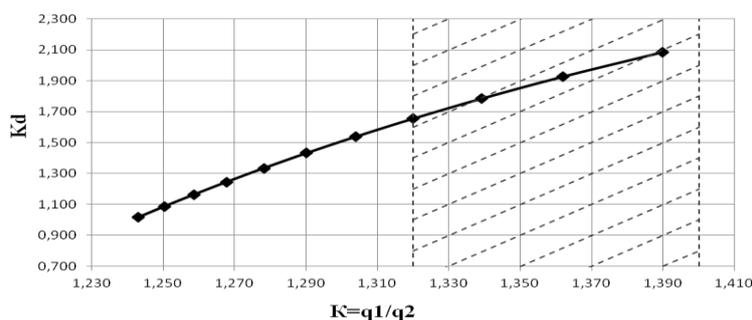


Рисунок 8 – Зависимость коэффициента динамичности  $K_d$  от коэффициента  $K=q_1/q_2$

Также была выведена зависимость коэффициента динамичности  $K_d$  от коэффициент  $K=q_1/q_2$  (рис. 8). На графике (рис. 8) видно, что при режимах близких к резонансу и при попадании в резонансную зону коэффициент динамичности резко возрастает, что говорит о резком увеличении усилий в элементах ферм пролетных строений от динамической составляющей (рис. 5).

Экспериментальная проверка результатов теоретических исследований и компьютерного моделирования была выполнена на действующих транспортных галереях с железобетонными и облегченными конструкциями.

Для динамического обследования строительных конструкций галереи использован анализатор вибраций АС-6400, который представляет собой двухканальный сборник-анализатор сигналов с автономным питанием, позволяющий регистрировать форму сигнала в частотном диапазоне 0...20000 Гц. Прибор оснащен встроенным анализатором спектра сигналов. Для снятия сигнала использован акселерометр АП-100 с диапазоном измеряемых ускорений  $\pm 50 g$ . В результате внутренней обработки сигнала можно получить амплитуды перемещений, ускорений и скорости колебаний, а также их спектры (рис. 9, 10).

Станция-Г17 Агрегат-Ф2 S Точка-60 Дата-19-09-2006 Время-11:36  
 Спектр Виброускорение, м/с<sup>2</sup> Диапазон 0.3-500 Гц Линия-1600 Усреднений-5 Тип усреднения-нормальный Окно-Ханнинга  
 Общий уровень - 0.2230 м/с<sup>2</sup> пик 0.0547 м/с<sup>2</sup> скз

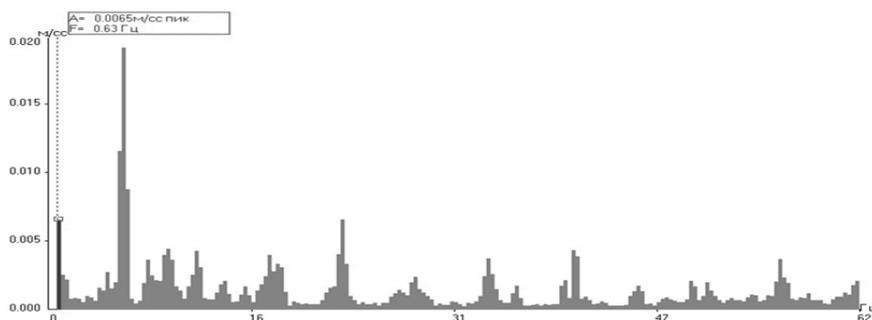


Рисунок 9 – Спектр виброускорений исходного строения

Станция-Г17 Агрегат-Ф2 S Точка-60 Дата-19-09-2006 Время-11:36  
 Спектр Виброускорение, м/с<sup>2</sup> Диапазон 0.3-500 Гц Линия-1600 Усреднений-5 Тип усреднения-нормальный Окно-Ханнинга  
 Общий уровень - 0.2230 м/с<sup>2</sup> пик 0.0547 м/с<sup>2</sup> скз

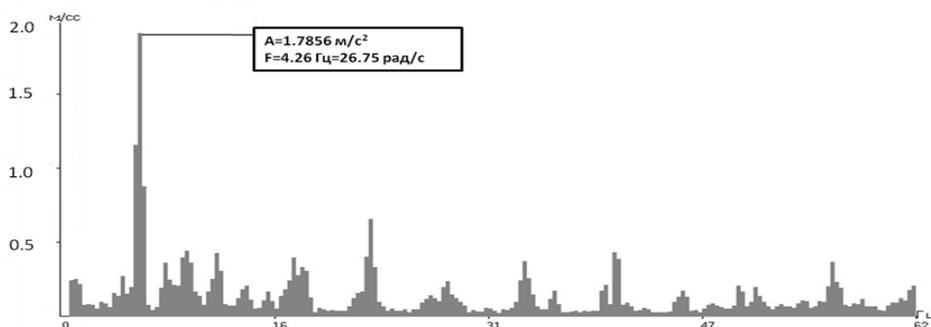


Рисунок 10 – Спектр виброускорений облегченного строения

### Выводы и направление дальнейших исследований.

– Использование облегченные ограждающие конструкции значительно уменьшает нагрузки на несущие элементы, это позволит использовать остаточную несущую способность конструкции, что как известно является наиболее эффективной реконструкцией.

– На основании полученных теоретических и экспериментальных результатов следует: у галерей длиной пролетов 24, 30 м значение частоты от динамического возмущения конвейера не попадает внутрь резонансной зоны. Опасным является пролет длиной 18 м в котором при полной замене ограждающих конструкций (общая масса пролета галереи была облегчена на 40,07%) реализуется резонанс.

– Выведенные зависимости позволяют значительно упростить проверку на попадание в резонансную зону и дать рекомендации на стадии проектирования реконструкции.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Руководство по проектированию транспортерных галерей / Ленингр. Промстройпроект Госстроя СССР. - М.: Стройиздат, 1979.-104с.
2. Динамический расчет специальных инженерных сооружений и конструкций: справочник проектировщика. / под ред. Б.Г.Коренева, А.Ф.Смирнова. - М.: Стройиздат, 1986. - 461 с.