

## **К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ ТРАНСПОРТЕРНЫХ ГАЛЕРЕЙ ПРИ СЛУЧАЙНЫХ КОЛЕБАНИЯХ**

Современное развитие промышленного производства связано с реконструкцией, расширением, техническим переоснащением и улучшением условий труда на действующих предприятиях. Учитывая рыночный характер отношений, важно, чтобы работы по реконструкции выполнялись в кратчайшие сроки. Тенденция к сокращению сроков реконструкции пролетных строений - весьма важное направление строительного дела.

При обследовании пролетных строений поверхностного комплекса шахт Криворожского бассейна выявлено значительное количество дефектов несущих и ограждающих конструкций галерей. Что касается ограждающих конструкций, то они требуют частичной или полной замены.

Среди общей экономии возникает вопрос о замене старых конструкций на более эффективные по ряду признаков. Это позволит значительно уменьшить нагрузку конструкции от собственного веса. То есть осуществляется переход на облегченные ограждающие конструкции галерей, что исключает необходимость выполнять проверочные расчеты несущей способности конструкций и опор галерей. Но уменьшение массы конструкции приводит к изменению частот собственных колебаний и жесткости всей конструкции. Это может привести к реализации резонанса, приводить к нарушению технологического процесса или аварийной ситуации. В наше время недостаточно сведений о работе конструкций пролетных строений при условии замены старых ограждающих конструкций на новые облегченные.

Благодаря проведенным исследованиям и накопленному практическому опыту строительство и реконструкция пролетных строений широко и с высокой эффективностью внедрялись в горнодобывающую промышленность. Несмотря на это, прослеживается длительный застой в динамике развития технико-экономических показателей строительства пролетных строений, не наблюдается развитие и совершенствование технологических схем ведения работ и реконструкции, не происходит модернизация оборудования, противоречит тенденции развития шахтного строительства в мировых горнодобывающих странах. При этом определяется перспективное направление развития технологии реконструкции галерей, который заключается в замене старых железобетонных ограждающих конструкций на современные облегченные материалы.

**Проблема и ее связь с практическими задачами.** Основные цели динамического расчета конструкции заключаются в обеспечении, во-первых, ее несущей способности и, во-вторых, допустимых величин амплитуд ее колебаний.

В соответствии с этими целями в задачу динамического расчета конструкции входит определение внутренних динамических усилий в ее элементах и перемещений, обусловленных динамическими деформациями ее элементов. С точки зрения этой основной задачи, определение частот собственных колебаний конструкции выступает как задача, ей подчиненная, однако чрезвычайно важная: не зная частот собственных колебаний, невозможно более или менее надежно оценить величины амплитуд внутренних усилий и перемещений [1]. Помимо этого, знание частот собственных колебаний конструкции имеет и самостоятельное значение, позволяя выявить причины возникновения сравнительно больших колебаний и в соответствии с этим указать эффективные мероприятия, ведущие к их уменьшению.

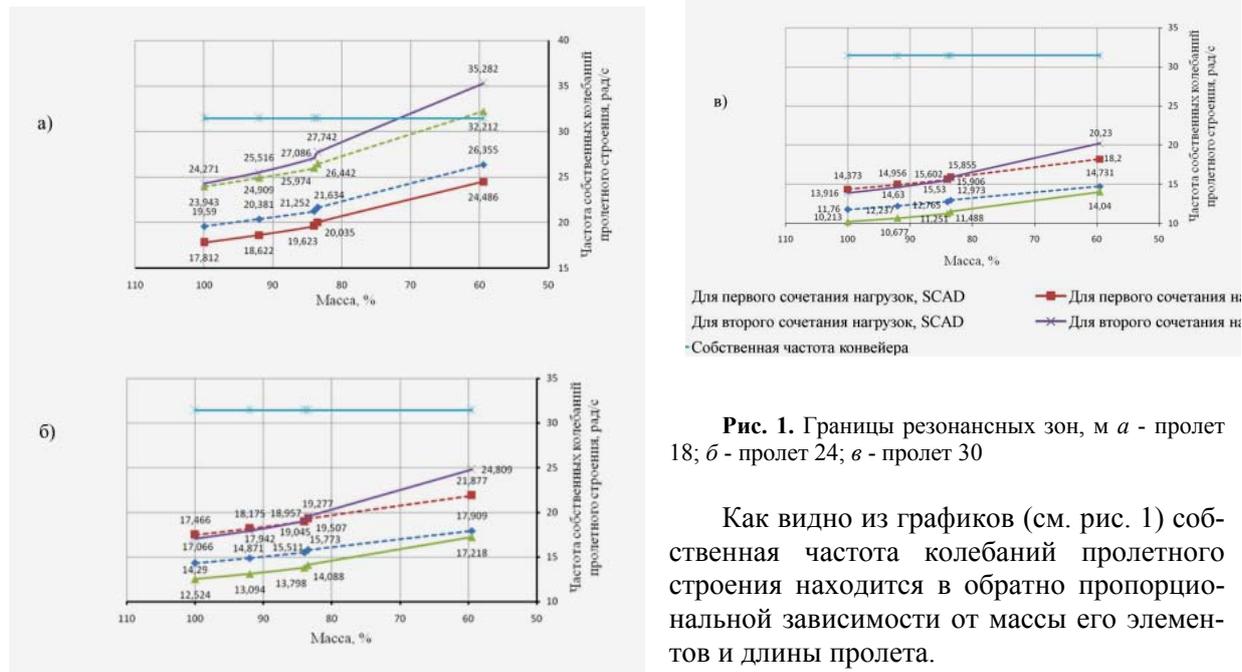
Если в результате динамического расчета конструкции выясняется, что несущая способность ее обеспечена, а расчетные значения амплитуд колебаний конструкции не превышают допустимых, то цели динамического расчета достигнуты. Если же в результате динамического расчета обнаруживается, что несущая способность конструкции превзойдена вследствие появления в ней динамических усилий или что расчетные значения амплитуд динамических перемещений превышают допустимые значения, тогда возникает задача выбрать эффективный и экономичный способ уменьшения колебаний конструкции.

**Постановка задачи.** Из сказанного следует, что динамический расчет строительных конструкций не только не противопоставляется проектированию мероприятий по уменьшению колебаний, но сам призван служить этой же цели. Необходимость и целесообразность осуществления тех или иных способов уменьшения колебаний может быть установлена в результате динамического расчета конструкции, а эффективность этих мероприятий может быть проверена повторным динамическим расчетом конструкции. Тем самым разработку мероприятий по

уменьшению колебаний нередко можно предусмотреть еще до возведения сооружения - в процессе его проектирования. Между тем к мероприятиям по уменьшению колебаний обращались обычно лишь тогда, когда их настоятельная необходимость обнаруживалась в процессе эксплуатации сооружения.

В расчетах конструкций на действие динамических нагрузок независимо от принятого метода рекомендуется определять частоты собственных колебаний для установления возможности резонанса, вычисления резонансных перемещений и усилий и разработки необходимых мероприятий для снижения уровня колебаний.

**Изложение материала и результатов.** По результатам исследований с помощью компьютерного моделирования были построены графики зависимости частоты свободных колебаний пролетного строения галерей от массы ограждающих конструкций (рис. 1).



**Рис. 1.** Границы резонансных зон, а - пролет 18; б - пролет 24; в - пролет 30

Как видно из графиков (см. рис. 1) собственная частота колебаний пролетного строения находится в обратно пропорциональной зависимости от массы его элементов и длины пролета.

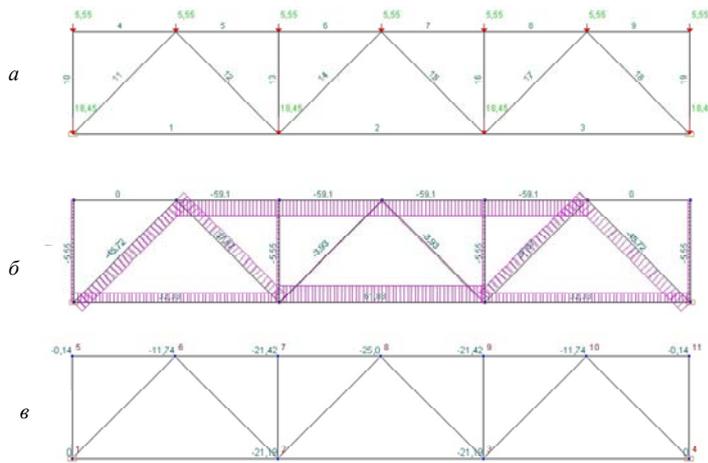
Получена неплохая сходимость с результатами теоретических расчетов по существующей методике с расхождением параметров до 13%.

Степень вероятности появления резонанса между динамической нагрузкой и конструкцией устанавливается путем определения частот собственных колебаний конструкций и сравнения их с частотами динамической нагрузки.

При этом должно учитываться существенно важное обстоятельство, что расчетное определение частоты собственных колебаний конструкции не может дать фактического значения частоты, но лишь нижний и верхний пределы некоторого диапазона, в котором оно заключено.

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. В то же время резонанс реализуется в пролете галереи длиной 18 м при уменьшении массы пролета на 40,5%.

Необходимо заметить, что обоснование принципиальной возможности допущения резонанса в строительных конструкциях было бы неправильно истолковывать как отрицание желательности его исключения там, где это возможно. Напротив, во всех случаях, когда имеется возможность исключения резонанса, а ее осуществление не встречает затруднений и оправдывается экономически, следует ему воспользоваться.



**Рис. 2.** Графическое отображение результатов расчетов пролетного строения длиной 18 м. *a* - схема статического нагружения; *б* - эпюра усилий в элементах; *в* - величина узловых перемещений

С динамической точки зрения форма собственных колебаний представляет упругую форму равновесия между инерционными и упругими силами конструкции. Такое равновесие возможно, как показано выше, только при собственных колебаниях. Каждой частоте на спектре частот собственных колебаний отвечает своя форма, существенно отличная от форм, отвечающих другим частотам спектра.

Каждой форме собственных колебаний присписывается номер соответствующей ей частоты. Первую форму часто называют основной.

Связь между номером формы собственных колебаний и количеством ее узлов (узловых линий) закономерна.

Знание форм собственных колебаний конструкции может оказаться полезным при проектировании и расчете конструкций под динамическую нагрузку. Выше указывалось, что если частота действующей на конструкцию периодической нагрузки приближается к критической частоте  $n_k$  ( $n_k$  - одна из частот собственных колебаний конструкции), то возможен резонанс, т.е. резкое возрастание амплитуд вынужденных колебаний конструкции. Это возрастание происходит за счет интенсивного развития  $k$ -й формы собственных колебаний конструкции.

Поэтому эпюра перемещений при резонансных колебаниях конструкции под действием нагрузки с критической частотой  $n_k$  имеет сходство с  $k$ -й формой собственных колебаний конструкции. Чем слабее это сходство, тем меньше резонансные амплитуды перемещений и внутренних усилий в конструкции и наоборот.

Таким образом, в тех случаях, когда частота динамической нагрузки может совпадать с частотой конструкции, знание форм собственных колебаний конструкции позволяет:

заранее указать сечения, в которых можно ожидать наибольшие резонансные перемещения;

располагать динамическую нагрузку на конструкции наиболее выгодно.

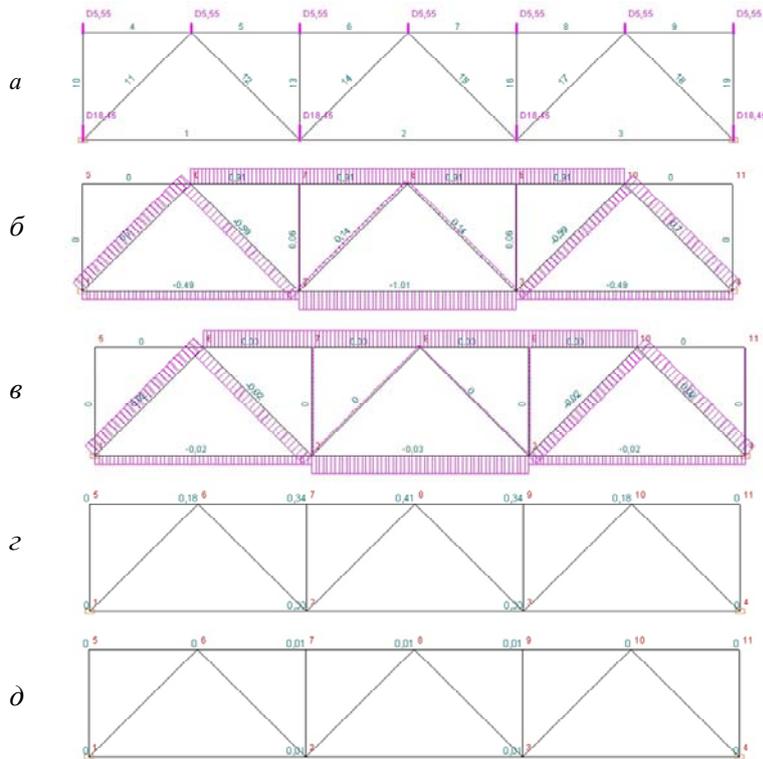
Поскольку расчет по существующей методике и компьютерное моделирование подтвердило опасность попадания в резонанс только пролета длиной 18 м, на нем и остановим свое внимание.

Динамические перемещения несущих конструкций определяются по нормативным значениям динамических нагрузок, а динамические усилия (изгибающие и крутящие моменты, продольные и поперечные силы) определяются по расчетным значениям динамических нагрузок [2].

При определении динамических перемещений и внутренних усилий в элементах перекрытий из внешней нагрузки учитываются только вертикальные силы и действующие в вертикальной плоскости моменты, а при определении динамических перемещений и внутренних усилий стоек и стен при горизонтальных колебаниях - только силы и моменты, действующие в горизонтальной плоскости.

При рассмотрении вертикальных колебаний определению подлежат наибольшие значения перемещения и изгибающего момента в пролетах, а также изгибающего момента и поперечной силы на опорах.

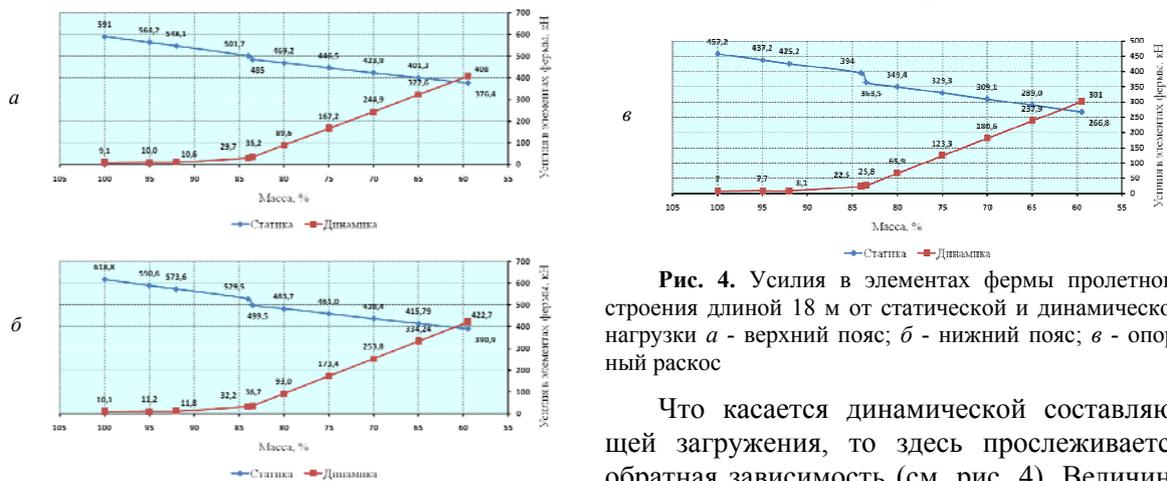
В результате полной замены ограждающих конструкций пролета длиной 18 м наибольшее вертикальное перемещение от статического нагружения составило 15,79 мм рис. 2, а от динамической составляющей 17,41 мм рис. 3, тогда суммарное перемещение равняется 33,2 мм.



**Рис. 3.** Графическое отображение результатов расчетов пролетного строения длиной 18 м: а - схема динамического нагружения; б - эпюры усилий от вклада по первой форме; в - эпюры усилий от вклада по второй форме; г - перемещение узлов от вклада по первой форме; д - перемещение узлов от вклада по второй форме

Зависимость внутренних усилия в элементах фермы от массы пролета представлена на графиках рис. 4.

При расчете от статической составляющей загрузки прослеживается прямая зависимость внутренних усилий от массы пролета. Как видно из графиков (рис. 4) с уменьшением массы усилия от статической нагрузки уменьшаются.



**Рис. 4.** Усилия в элементах фермы пролетного строения длиной 18 м от статической и динамической нагрузки а - верхний пояс; б - нижний пояс; в - опорный раскос

Что касается динамической составляющей загрузки, то здесь прослеживается обратная зависимость (см. рис. 4). Величина динамических усилий в элементах фермы

возрастает при уменьшении массы пролета, а при близости частоты вынужденных колебаний  $\omega$  к первой частоте  $\theta_1$  свободных колебаний, то есть при режимах, близких к резонансу даже превышает величину статических усилий.

Анализ динамического расчета показал, что в условиях резонанса усилия в элементах возрастают на 30%. Это может привести к нарушению технологического процесса или аварийной ситуации. Поэтому необходимо выполнить проверочные расчеты на прочность, устойчивость и выносливость.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** В результате исследований с помощью численного моделирования динамических процессов получена неплохая сходимость с результатами теоретических исследований по существующей методике с расхождением параметров до 10%.

Выведенные зависимости позволяют значительно упростить проверку на попадание в резонансную зону и дать рекомендации на стадии проектирования реконструкции. Уменьшение массы пролетного строения галерей приводит к уменьшению усилий от статической нагрузки и к увеличению от динамической при близости частоты вынужденных колебаний  $\omega$  к первой частоте  $\theta_1$  свободных колебаний, то есть при режимах, близких к резонансу. При режимах близких к резонансу и при попадании в резонансную зону коэффициент динамичности возрастает, что говорит о резком увеличении усилий в элементах ферм пролетных строений от динамической составляющей.

### Список литературы

1. **Сорокин Е.С.** Динамический расчет несущих конструкций зданий / **Е.С. Сорокин** - М.: Госстройиздат, 1956. – 340 с.
2. Инструкция по расчету конструкций промышленных зданий и сооружений на динамические нагрузки. - М., Стройиздат, 1970. - 286 с.
3. **Бондарь Н.Г.** Динамический расчет пролетных строений железнодорожных мостов / **Н.Г. Бондарь, Ю.Г. Козьмин** // Динамический расчет специальных инженерных сооружений / под ред. **Б.Г. Коренева, А.Ф. Смирнова**. - М.: Стройиздат, 1986. - С. 290 - 327.
4. **Гогелия Т.И.** Динамический расчет конструкций на подвижные нагрузки с применением метода конечных элементов / **Т.И. Гогелия** // Сообщение АН ГрССР, 115.-1984. -№ 1.- С. 121-124.
5. **Деркачев А.А.** Динамические расчетные схемы зданий и их свободные колебания / **А.А. Деркачев, С.Х. Негматуллаев**. - Душанбе: Дониша, 1970. - 230 с.
6. Динамический расчет зданий и сооружений: справочник проектировщика / **М.Ф. Берштейн, В.А. Ильичев, Б.Г. Корнев** и др. - М.: Стройиздат, 1984. - 303 с.
7. Динамический расчет зданий и сооружений: справочник проектировщика / под ред. **Б.Г. Корнеева, И.М. Рабиновича**. - М.: Стройиздат, 1984.
8. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия: справочник проектировщика / **М.Ф. Барштейн, Н.М. Бородачев, Л.Х. Блюмина** и др. - М.: Стройиздат, 1981. - 215 с.
9. **Хворост В.В.** Амплитудно-частотные характеристики пролетных строений на поверхности шахт в условиях перехода на облегченные ограждающие конструкции / **В.В. Хворост** // Перспективы освоения подземного пространства: междунар. науч.-практ. конф. 10-11 апр. 2012 г.: докл. – Днепропетровск, 2012. – С. 62-67.
10. **Хворост В.В.** Амплитудно-частотные характеристики транспортных галерей в условиях перехода на облегченные ограждающие конструкции / **Д.В. Бровко, Н.І. Посмашна, В.В. Хворост** // Вісник КТУ. – 2011. – Вип. 94. – С. 98-101.
11. **Хворост В.В.** Анализ состояния металлических сооружений на шахтах / **Д.В. Бровко, В.В. Хворост** // Международная научно-техническая конференция «Перспективы освоения подземного пространства». – Днепропетровск, 2008. – Вып. №14. – С. 56 – 58.
12. **Хворост В.В.** Динамика транспортных галерей в условиях перехода на облегченные ограждающие конструкции / **Д.В. Бровко, В.В. Хворост** // Материалы 4-й Международной научно-практической конференции «Перспективы освоения подземного пространства». – Днепропетровск, 2010. - С. 81-85.
13. **Хворост В.В.** Динамика транспортных галерей горнодобывающих предприятий / **Б.М. Андреев, Д.В. Бровко, Хворост В.В.** // Збірник наукових праць НГУ. - 2010. № 34, Т.1. – С. 88-93.
14. **Хворост В.В.** Динамический расчет зданий и сооружений горнодобывающих предприятий / **В.В. Хворост** // Материалы Международной научно-технической конференции «Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений». – Донецк, 2012. – Вып. 18 – С. 79-82.
15. **Хворост В.В.** Динаміка споруд при реконструкції / **Д.В. Бровко, В.В. Хворост** // Международная научно-техническая конференция «Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений». – Донецк, 2010. - Вып. 16 – С. 14-16.
16. **Хворост В.В.** Исследование состояния копровых сооружений / **Д.В. Бровко, В.В. Хворост** // Международная научно-техническая конференция «Совершенствование технологии строительства шахт и подземных сооружений». – Донецк, 2008. – Вып. 14. – С. 97-98.
17. **Хворост В. В.** Исследования влияния различных факторов на собственную частоту колебания пролетных строений транспортных галерей / **Д. В. Бровко, В. В. Хворост** // Вісник КТУ.- 2011. – Вип. 29.– С. 82-83.
18. **Хворост В. В.** Надшахтные копры - практика и усовершенствование их проектирования / **Д.В. Бровко, В.В. Хворост** // Разраб. рудн. месторожд. – 2007. – Вып. 91. – С. 83-87.
19. **Хворост В.В.** Оцінка стану галерей на поверхні гірничовидобувних підприємств Криворізького залізничного басейну / **Б.М. Андреев, Д.В. Бровко, Хворост В.В.** // Современные проблемы шахтного и подземного строительства. – Донецк, 2009. – Вып. 10-11. – С. 284-291.
20. **Хворост В.В.** Переваги та недоліки реконструкції галерей гірничовидобувних підприємств / **Д.В. Бровко, В.В. Хворост** // Міжнародна науково-технічна конференція «Гірничо-металургійний