

УДК 624.622.014

*Д.В Бровко, канд. техн. наук, доц., В.В. Хворост, канд. техн. наук, доц., ГВУЗ «Криворожский национальный университет»*

## **АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКОГО И ДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГАЛЕРЕЙ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ КРИВБАССА**

*Представлено аналіз методів проектування, умов експлуатації і технічного стану рудникових естакад Криворізького басейну. Приведено причини виникнення аварійних ситуацій і їх аналіз. Розглянуті питання застосування сучасного комп'ютерного програмного забезпечення для проектування і розрахунку конструкцій шахтної поверхні.*

*Ключові слова: галереї, власна частота, надійність*

*Представлен анализ методов проектирования, условий эксплуатации и технического состояния рудничных эстакад Криворожского бассейна. Приведены причины возникновения аварийных ситуаций и их анализ. Рассмотрены вопросы применения современного компьютерного программного обеспечения для проектирования и расчета конструкций шахтной поверхности.*

*Ключевые слова: галереи, собственная частота, надежность*

*The analysis of design methods, operating conditions and technical condition of mine overpasses of the Krivoy Rog basin. The causes of emergencies and their analysis are given. The questions of application of modern computer software for design and calculation of shaft surface structures are considered.*

*Keywords: galleries, natural frequency, reliability.*

**Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.** Важливою галузевою межею є наявність спеціальних шахтних споруд - копрів, з якими пов'язані деякі специфічні проблеми, а саме: проблема визначення аварійних (екстрених) навантажень і проблема захисту від передчасної корозії. Укісні і баштові копри є невід'ємними частинами шахтних підйомних установок і найбільш відповідальними спорудами на шахтній поверхні. Природно, що їх удосконаленню постійно приділяють увагу проєктні і науково-дослідні інститути. Разом з цим недостатньо увагу приділяють дослідженню і розрахунку транспортних естакад, які є важливою складовою технологічного комплексу шахтної поверхні. На шахтах України і за її межами багато аварійних естакад, їх заміна або ремонт, якщо останній потребує зупинки технологічного процесу, обов'язково стануть причиною чималих втрат. Іноді на заміну естакади просто не вистачає засобів, а загроза аварійного обвалу пролітних будівель вимагає вживання заходів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Зміни (удосконалення) норм у частині проектних навантажень за останні 20-30 років привели до зменшення вертикальних навантажень на 5-7 %, але до появи коефіцієнта надійності 0,95, який раніше не враховувався. Зменшився на 20 % коефіцієнт, що враховує зміну вітрового тиску по висоті. У той же час збільшився коефіцієнт перевантаження на вітрові навантаження, змінився (посилився) підхід до динаміки навантажень, втоми металу, резонансних явищ, аварійних навантажень.

Норми, що в цілому діють в даний час, гнучкіші в порівнянні з тим, що раніше діяли. У той же час, у кожному випадку потрібний диференційований підхід до робочих проектів на будівництво і реконструкцію естакад. Останнім часом почастишали аварії естакад, які в основному відбуваються через ослаблення перетинів елементів ферм несучих конструкцій із-за процесу корозії металу. Все це відбувається в результаті безсистемних, невчасних ремонтів. Норми, що діють, не в повному об'ємі враховують рівень пріоритету ремонтпридатності. Відсутня стратегія економічності експлуатації споруди.

У західних країнах при виробленні стратегії експлуатації можливі наслідки втрати функціональності (відмова) конструкцій оцінюються економічними і соціальними категоріями. Невиправдана економія на стадії проектування, будівництва, а також безсистемний підхід до ремонтно-відновних робіт приводить до великих грошових витрат у процесі експлуатації. Особливо такі витрати різко зростають при ліквідації аварій на естакадах.

Разом з перерахованими динамічними навантаженнями для деяких надшахтних споруд можуть мати місце навантаження, властиві гірничим підприємствам і не регламентовані БНіП. Сюди відносяться перш за все екстремальні дії на надшахтному копру, що виникають у зв'язку з раптовим гальмуванням підйому і обривом скіпа або кліті, посадкою кліті на кулаки, уловлюванням кліті парашутом типа ПТК. Це приведе до передачі виникаючих навантажень безпосередньо на надшахтні споруди і у свою чергу на пов'язані з ними естакади.

Розвиток і удосконалення металевих будівельних конструкцій пов'язані з вирішенням найважливіших проблем металовиробництва – економією стали і підвищенням продуктивності праці при виготовленні і монтажу конструкцій. Підрахунки показують, що при правильному застосуванні цих основних положень можливо понизити витрату стали приблизно на 35% і одночасно підвищити продуктивність праці при виготовленні і монтажу металевих конструкцій не менше чим у два рази [2].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Відтак, односторонній підхід до комплексного рішення цих проблем недопустимий. Повинні бути враховані і вимоги довговічності конструкції.

**Формулювання цілей.** Отже, виникає необхідність у проведенні досліджень для подальшого удосконалення нормативних документів і розробки нових методик проектування.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Вирішуючи питання зниження ваги конструкції, необхідно застосовувати більш точні методи розрахунку, використовуючи методику розрахунку по граничних станах. З іншого боку, вимоги міцності і надійності конструктивної форми передбачають запобігання крихкому руйнуванню конструкції. Річ у тому, що несуча здатність конструкції, розрахована на основі обліку пружно-пластичних деформацій, не завжди забезпечує її міцність, оскільки при дійсній роботі не обов'язкове виникнення і розвиток пластичних деформацій. У цьому випадку може відбутися крихке руйнування при нарузі в 2 – 3 рази менших, ніж розрахункові, що свідчить про важливість проблеми попередження крихкого руйнування, яка вивчена абсолютно недостатньо навіть в області визначення чисельних значень умовних показників крихкості за наслідками випробування на ударну в'язкість.

Гірнична промисловість є однією з провідних галузей народного господарства. Практикою встановлено, що будівлі і споруди поверхні шахт у процесі експлуатації приходять в аварійний стан значно швидше, ніж це спостерігається в інших галузях промисловості. За час експлуатації на шахтах Криворізького залізрудного басейну відбувся ряд аварій будівельних конструкцій будівель поверхні, основними причинами є:

- проектування на підставі загальних технічних умов, що не містять особливих вимог до якості конструкцій, передбачених умовами експлуатації споруд;
- відступ від проектів при зведенні конструкцій;
- низька якість і дефекти виробництва будівельних робіт, а також дефекти металопрокату;
- неправильна експлуатація будівель і споруд;
- введення будівель і споруд в експлуатацію зі значними недоробками;
- дефектність інженерно-геологічних досліджень підстав;
- недостатнє дослідження науково-дослідними організаціями роботи деяких конструкцій і споруд під навантаженням і ін.

Ці аварії будівельних конструкцій, як правило, з'явилися наслідком сукупності ряду причин (табл. 1).

Деякі аварії служать поштовхом для розгляду і рішення недостатньо вивчених раніше інженерних і наукових проблем. Так, у зв'язку з обваленням від крихкого руйнування металу сталевих ферм транспортних естакад [3] додатково вивчаються проблеми крихкого руйнування металу в різних умовах роботи.

Розподіл аварій за причинами їх виникнення

Кількість причин, що викликали аварію	Кількість аварій			Всього	
	по даних [2]	по даних [3]	по даних [4]	кількість	проценти
Одна	6	1	23	30	47,4
Дві	10	3	14	27	43,0
Три	3	-	2	5	8,0
Більше трьох	1	-	-	1	1,6
<b>Разом</b>	<b>20</b>	<b>4</b>	<b>39</b>	<b>63</b>	<b>100</b>

При огляді деяких ферм було встановлено:

- вузлові фасонки ферм виявилися повністю зруйнованими вище 1-3 см за зварний шов і паралельно нижньому поясу ферми;
- характер руйнування фасонки був крихким (поверхня нерівна, кристалічна);
- у результаті цих порушень стан ферм естакад в цілому характеризується як суто аварійний.

Статичний розрахунок ферм свідчить про те, що є достатній запас міцності – 23,8%. Фізико-механічні і хімічні характеристики сталі, з яких виготовлені фасонки, визначити не вдалося, оскільки ферми знаходилися в робочому проектному положенні і вирізувати зразок для випробування неможливо.

Явно видно, що руйнування фасонки відбулося в місці її деформації, що дало підставу припускати наступне: обрив фасонки відбувся унаслідок концентрації дотичної напруги в місцях її деформації (геометричні характеристики фасонки і її розрахунок відповідають проектним даним). Вирішальним виявився той чинник, що концентрації напруги створювалися в зоні термічного впливу. Структура металу в цій зоні нерівномірна. На ділянці з температурою вище 1000-1100 °С (при зварюванні) відбувається зростання кристалів, утворюється грубозерниста структура і погіршуються механічні якості металу. Зона термічного впливу (перехідна зона) є найслабкішим місцем [4]. Крім того, не можна не враховувати і вібраційні навантаження, що виникають при роботі конвеєра. Все це і стало передумовою до втрати несучої здатності фасонки і її обриву.

Зі викладеного можна зробити висновок: аварії транспортних естакад могли відбутися внаслідок дефекту виготовлення конструкцій ферми на заводі.

З таблиці 2 видно, що кількість крихких руйнувань складає 14,2 % від загального числа розслідуваних аварій, з яких переважна більшість крихких руйнувань доводяться на зимовий час, тобто при негативній температурі.

Таким чином, руйнування і причини, що їх викликають представляють науковий інтерес.

Для подальшого дослідження був використаний проектно-обчислювальний комплекс SCAD. Комплекс реалізує елементне моделювання статичних і динамічних розрахункових схем, перевірку стійкості, вибір невідгінних поєднань зусиль, підбір арматури залізобетонних конструкцій, перевірку несучої здатності сталевих конструкцій.

У основу розрахунку покладений метод кінцевих елементів з використанням невизначених переміщень і поворотів вузлів розрахункової схеми.

Таблиця 2

Розподіл руйнувань естакад за дефектами

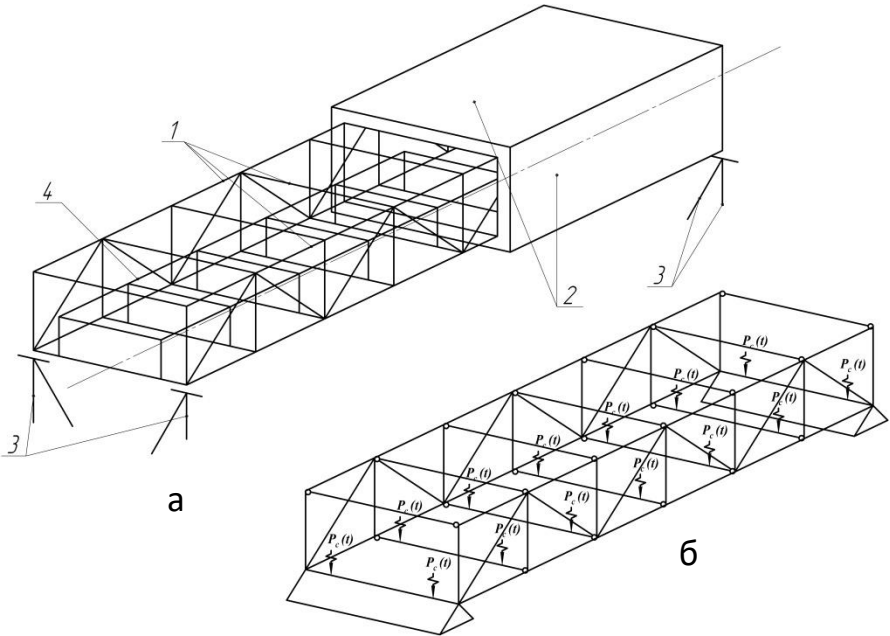
Технічна причина	Кількість аварій			Всього	
	по даних [2]	по даних [3]	по даних [4]	кількість	процент
Втрата місцевої і загальної стійкості	8	1	17	26	41,2
Руйнування сталі: пластичне крихке	3	2	–	5	8,0
	2	–	7	9	14,2
Вичерпання втомної міцності сталі	–	–	2	2	3,2
Руйнування зварних з'єднань	4	1	10	15	23,8
Руйнування болтових з'єднань	2	–	–	2	3,2
Інші причини	1	–	3	4	6,3
<b>Разом</b>	<b>20</b>	<b>4</b>	<b>39</b>	<b>63</b>	<b>100</b>

У зв'язку з цим ідеалізація конструкції виконана у формі, пристосованій до використання цього методу, а саме: система представлена у вигляді набору тіл стандартного типу (стержнів, пластин, оболонок і т.д.), так званих кінцевими елементами і приєднаних до вузлів (рис.1).

Тип кінцевого елемента визначається його геометричною формою, правилами, що визначають залежність між переміщеннями вузлів кінцевого елемента і вузлів системи, фізичним законом, що визначає залежність між

внутрішніми зусиллями і внутрішніми переміщеннями, і набором параметрів (жорсткостей), що входять в опис цього закону і ін.

Вузол в розрахунковій схемі методу переміщень представляється у вигляді абсолютного жорсткого тіла. Положення вузла в просторі при деформаціях системи визначається координатами центру і кутами повороту трьох осей, жорстко пов'язаних з вузлом. Вузол представлений як об'єкт, що має шість вимірювань свободи – трьома лінійними зсувами і трьома кутами повороту.



**Рис. 1. Схема приведення прогонової будови галереї до розрахункової моделі:**

*а – просторова схема конструкцій; б – динамічно еквівалентна розрахункова модель-схема; 1, 2 – несучі та огорожувальні конструкції пролітної будови; 3 – опори прогону; 4 – станина (рама) конвеєра*

Всі вузли і елементи розрахункової схеми нумеруються. Номери, привласнені їм, слід трактувати тільки, як імена, які дозволяють робити необхідні посилання.

Основна система методу переміщень вибирається шляхом накладення в кожному вузлі всіх зв'язків, що забороняють будь-які вузлові переміщення. Умови зусиль що рівні нулю в цих зв'язках є вирішуючими рівняннями рівноваги, а зсуви вказаних зв'язків – основні невідомі методу переміщень.

Для завдання даних про розрахункову схему можуть бути використані різні системи координат, які надалі перетворюються в декартові. Надалі для опису розрахункової схеми використовуються наступні декартові системи координат:

- Глобальна правостороння система координат XYZ, пов'язана з розрахунковою схемою;

- Локальні правосторонні системи координат, пов'язані з кожним кінцевим елементом.

Розрахункова схема визначена як система з ознакою 2. Це означає, що розглядається плоска рамна система розташована в площині XOZ і основні невідомі представлені лінійними переміщеннями вузлових точок уздовж осей X і Z, а також їх поворотами навколо осі Y.

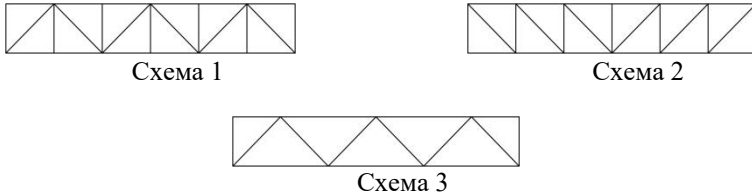
Розрахункова схема характеризується наступними параметрами: кількістю вузлів; кількістю кінцевих елементів; загальною кількістю невідомих переміщень і поворотів; кількістю завантажень; кількістю комбінацій завантажень. Статичний розрахунок системи виконаний в режимі лінійної постановки.

У розрахункову схему включені кінцеві елементи наступних типів. Стрижньові кінцеві елементи, для яких передбачена робота за звичайними правилами опору матеріалів. Опис їх напруженого стану пов'язаний з місцевою системою координат, у якої вісь X1 орієнтована уздовж стержня, а осі Y1 і Z1 — уздовж головних осей інерції поперечного перетину. Деякі стержні приєднані до вузлів через абсолютно жорсткі вставки, за допомогою яких враховуються ексцентриситети вузлових примикань. Тоді вісь X1 орієнтована уздовж пружної частини стержня, а осі Y1 і Z1 — уздовж головних осей інерції поперечного перетину пружної частини стержня. До стержньових кінцевих елементів даної розрахункової схеми відносяться також елементи типу 2 – (стержень плоскої рами, розташований в площині XOZ), який працює за плоскою схемою і сприймає подовжню силу N, що вигинає момент M і поперечну силу Q.

За допомогою обчислювального комплексу SCAD ми створили динамічно еквівалентні моделі основних типів ферм транспортних галерей (рис. 2). На цих моделях змогли відтворити роботу конвеєра і поведінки конструкції в цілому.

Зі зменшенням маси галереї частота власних коливань зростає і в кінцевому підсумку частота вимушених коливань потрапляє в зону

резонансу. У свою чергу зі збільшенням власної частоти коливань амплітуда переміщень зростає. Отримані значення амплітуди переміщень значно перевищили гранично допустимі значення. Таким чином, вібрація ферм може бути небезпечною для здоров'я персоналу. Також збільшення частоти коливання призводить до різкого зростання зусиль в елементах ферми, що може привести до втоми конструкції.



**Рис 2. Розрахункові схеми ферм**

### **Висновки**

При реконструкції об'єктів необхідно проводити вібродинамічне обстеження будівельних конструкцій.

У перелік робіт з обстеження повинні входити теоретичні та експериментальні дослідження з складанням динамічних паспортів для подальшої оцінки технічного стану конструкцій.

Доведено, що характерні для промислових будівель джерела динамічного впливу можуть істотно погіршувати експлуатаційні якість таких об'єктів.

Для спрощення розрахунків і проектування при проведенні реконструкції транспортних галерей поверхні гірничих підприємств необхідні внесення коригувань в методику розрахунку і проектування. Для цього необхідно подальше проведення теоретичних досліджень і розрахунків власних і вимушених коливань розглянутих конструкцій.

#### *Список використаних джерел*

1. Костін Э. С. Нові технічні рішення при будівництві надшахтних будівель та баштових копрів / Э. С. Костін, В. А. Нейумін. // Журнал «Шахтное строительство». – 1988. – №1. – С. 6–10.
2. Почтман Ю. М. Моделі оптимального проектування фірмових конструкцій з урахуванням корозії / Ю. М. Почтман, М. М. Фридман, В. З. Забіров // 36. Сопротивление материалов и теория сооружений. – К.- Вып. 63.- 1997.
3. Коренева Б. Г. Справочник проектировщика "Динамический расчет сооружений на специальные воздействия" / Б. Г. Коренева, И. М. Рабиновича. – М.: Стройиздат, 1981. – 215 с.
4. Аронов Р. И. Испытание сооружений / Р. И. Аронов. – М: Высшая школа, 1974. – 187 с.

Рукопис надійшов 27.04.2016 р.