

УДК 622.276.52

А. П. Стегнієнко, О. В. Ігнатов

*ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Донецьк, Україна*

## Про підвищення динамічної стійкості режимів ступінчатих схем ерліфтів

На основі результатів дослідження вимушених коливань в ерліфті розроблена методика розрахунку раціональних розмірів приймальної ємкості ступінчатих ерліфтів.

Ключові слова: дослідження, ерліфт, стисле повітря, вимушені коливання.

### 1. Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами

Питомі витрати енергії при підйомі рідини або гідросуміші по вертикалі ерліфтом визначаються відносним динамічним зануренням та режимом роботи на цьому зануренні.

При значних висотах підйому, виходячи з прагнення зменшити питомі енерговитрати, доводиться йти на застосування багатоступінчатої гідравлічної схеми ерліфтного гідропідйомника, при якій сумарні питомі витрати у всіх ступенях виявляються значно нижчими в порівнянні з одноступінчатою схемою (при однаковій висоті підйому). З міркувань резервування, обладнання і підвищення надійності експлуатації гідропідйомної установки в таких випадках звичайно передбачають повітропостачання всіх ступенів гідропідйому із загального збірної колектора, на який підключають всі нагнітальні агрегати компресорної станції. Але ступінчатий ерліфт з такою схемою гідропневматичних комунікацій уявляє собою динамічно нестійку механічну систему. Нестійкість режимів роботи та їх зрив особливо яскраво виявляється на режимах, що супроводжуються відвертими коливальними процесами. У принципі ж згадані багатоступінчаті схеми динамічно нестійкі на будь-яких режимах, що відповідають висхідним гілкам розхідних характеристик (режими, що відповідають спадним гілкам, як відомо, не мають промислового застосування тому, що відзначаються великими питомими витратами енергії, хоча й виявляються динамічно стійкими).

Застосування стабілізуючих систем автоматичного регулювання режимів роботи ступінчатих ерліфтів дозволяє перевести їх до категорії динамічно стійких механічних систем при роботі на висхідних гілках розхідних характеристик, але в обмеженому діапазоні. Вибір розмірів приймальних ємкостей здійснювався в основному виходячи з параметрів вільних самозбудовувальних процесів, що супроводжують найбільш економічні режими ерліфта. Такий підхід в цьому питанні потребує перевірки вибраних розмірів приймальних ємкостей їх відповідності впливу вимушених коливань на загальний характер руху транспортованого середовища.

Вимушені коливання у будь-якому ступені ерліфтної установки можуть виникати при нанесенні збурень як у силових повітропроводах (наприклад, при ковзаючому режимі системи автоматичного регулювання розходу стислого повітря), так при коливаннях геометричної глибини занурення наступних ступенів, що визначається чоточною структурою потоку гідросуміші на виході попередніх та обмеженими розмірами приймальних ємкостей (особливо у горизонтальній площині, що в умовах шахтних стовбурів є характерним). Це, в свою чергу, призводить до викидань транспортованого середовища у стовбур шахти, що не бажано як з точки зору втрат енергії, так і по міркуванням надійності і безпеки установки, особливо при транспортуванні гідросуміші.

### 2. Аналіз досліджень та публікацій

Проведені експериментальні дослідження [1] дали можливість виявити нову закономірність, яка полягає в тому, що на деяких режимах збурювання вимушених коливань середовища в ерліфті виникає ділення частот. Період викидання рідинної фази на виході стає при цьому у два рази більше за період збурювальної функції. Ці явища у експериментах спостерігались

багатократно при різних зануреннях і доведений їх стійкий характер. Визначена зона ділення частоти коливань параметрів руху середовища і умови, за яких це явище виникає.

Значення отриманих результатів по дослідженню вимушених коливань можна визначити наступним чином.

При експлуатації ступінчатих ерліфтів у зоні оптимальних режимів треба вибирати коефіцієнти настройок систем автоматичного регулювання розходу стислого повітря такими, щоб уникнути динамічних відхилень більше 25% середнього значення розходу повітря. В протилежному випадку виникає збільшення періоду коливань у 2 рази. Подібна ситуація має несприятливий характер за умов стійкості гідравлічного режиму даного ступеня тому, що проміжок часу викидання чотки у цьому випадку складає не більше 1/4 періоду, що при гідротранспорті гірничої маси може привести до осідання твердої фракції у приймальному трубопроводі і в кінцевому рахунку до його закупорки. Проте навіть при стійкому чоточному режимі даного ступеня коливання виробності є для подальшого ступеня джерелом збурювань і можуть викликати в ньому ділення частоти. У цьому випадку приймальна ємність попереднього ступеня повинна за період коливань подальшого ступеня сприйняти об'єм транспортованого середовища, що дорівнює об'єму двох чоток попереднього ступеня. Невиконання даної умови буде неминуче призводити до переливання транспортованого середовища у стовбур шахти або до втрати стійкості гідравлічного режиму установки в цілому.

### 3. Постановка задачі

Виходячи з викладеного, пропонується вирішення задачі про вибір раціональних розмірів приймальної ємності ступінчатого ерліфта, необхідних для роботи в зоні оптимальних режимів із врахуванням можливості виникнення явища ділення частот.

### 4. Викладення матеріалу та результати

Розрахунки пропонується проводити в наступному порядку.

1. Визначається період коливань  $T_{OPT}$  на оптимальному режимі згідно з [2]:

$$T_{OPT} = \frac{2\pi}{\omega_0}$$

де  $\omega_0$  - частота власних коливань на оптимальному режимі

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{c_1}{a_1}}$$

$c_1, a_1$  - відповідно узагальнені коефіцієнти жорсткості та інерції ерліфта.

$$c_1 = \frac{S_{n.mp} \cdot \gamma \cdot P_{д.изб}}{P_{св} \cdot q} \left( \frac{5}{3} + \frac{P_{св}}{P_{д.изб}} \right)$$

$$a_1 = \frac{S_{np}^2 \cdot P_{св} \cdot q \cdot \gamma}{K_1 \cdot S_{n.mp} \cdot g} \left| \ln \frac{P_a}{P_{д.ср}} \right| + \frac{l_{np} \cdot S_{np} \cdot \gamma}{g}$$

де  $S_{n.mp}, S_{np}$  - відповідно площа перерізу підйомного та приймального трубопроводів ерліфта;

$P_{св}$  - тиск на виході ерліфта;

$q$  - питомий розхід стислого повітря;

$K_1$  - кутовий коефіцієнт, що характеризує середню по довжині підйомної труби об'ємну вагу суміші;

$\gamma$  - об'ємна вага транспортного середовища;

$P_{д.ср}$  - середній тиск динамічного занурення;

$l_{np}$  - довжина приймального трубопроводу;

$P_{д.изб}$  - надлишковий тиск динамічного занурення.

2. Амплітуда коливань  $A_p$  тиску в змішувачі на оптимальному режимі [2]

$$A_p = \frac{a_0 \cdot \rho_{сж} \cdot v_{cp}}{2},$$

де  $a_0$  - швидкість звуку в потоці стислого повітря;

$$a_0 = 1,19 \sqrt{\frac{P}{\rho_{сж}}}$$

$P$ ,  $\rho_{сж}$  - тиск та густина стислого повітря;

$v_{cp}$  - середня швидкість повітря у пневмопроводі на оптимальному режимі ерліфта;

$$v_{cp} = \frac{Q_{э.опт} \cdot P_a}{S_э \cdot P}$$

$S_э$  - площа перерізу пневмопроводу;

$Q_{э.опт}$  - розхід стислого повітря на оптимальному режимі;

$P_a$  - атмосферний тиск.

3. Максимальна виробність ерліфта  $Q_{э.макс}$ , що відповідає вершині на півперіоду коливань, визначається формулою:

$$Q_{э.макс} = \sqrt{Q_{э.опт}^2 + \frac{2g \cdot S_{np}^2 \cdot A_p}{\gamma \cdot \lambda_{np}}}$$

де  $Q_{э.опт}$  – виробність ерліфта на оптимальному режимі;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $\lambda_{np}$  – коефіцієнт опору приймального трубопроводу.

4. Визначається об'єм  $W$  транспортованого середовища, що викидається ерліфтом за період:

а) релаксаційні коливання  $\left( A_p \geq \frac{\lambda_{np} \cdot Q_{э.опт}^2 \cdot \gamma}{2g \cdot S_{np}^2} \right)$

$$W = \frac{Q_{э.макс} \cdot T_{опт}}{2};$$

б) томсоновські коливання  $\left( A_p < \frac{\lambda_{np} \cdot Q_{э.опт}^2 \cdot \gamma}{2g \cdot S_{np}^2} \right)$

$$W = A_Q \cdot T_{опт}$$

де  $A_Q$  - амплітуда коливань виробності ерліфта

$$A_Q = Q_{э.макс} - Q_{э.опт}$$

5. Необхідний об'єм приймальної ємкості

$$W_{np} = 2 \cdot W$$

6. Граничні розміри приймальної ємкості по висоті визначаються виходячи з максимального розмаху коливань тиску

$$h_{np} \leq \frac{2 \cdot A_p}{\rho \cdot g}$$

Решта розмірів визначається конструктивно виходячи з конкретних умов застосування ерліфта. Але, не зважаючи на різноманітність відзначених умов застосування, загальною вимогою

при проектуванні приймальних ємкостей є їх самоочищення. Для цього днище приймальної ємкості виконується похилим, причому кут похилу до горизонталі повинен бути не менше кута натурального схилу гірничої маси у транспортованому середовищі.

### **Висновки і використання результатів**

Таким чином при вирішенні питання про вибір розмірів приймальної ємкості (як по висоті, так і в перпендикулярному напрямку) за умов місткості за період коливань змінної складової виробності ерліфта можна уникнути викидання транспортованого середовища у стовбур шахти, зменшити коливання занурення подальших ступенів і, таким чином, створити сприятливі умови для стабілізації гідравлічного режиму багатоступінчатої ерліфтною установки в цілому.

Отримані результати можуть бути використані на стадії проектування багатоступінчатих ерліфтних установок для гідротранспорту сумішей з твердими включеннями.

### **Бібліографічний список**

1. Логвинов Н.Г. Стегниенко А.П. Исследование вынужденных колебаний в эрлифте. - Рук. деп. УкрН-ШНТИ, №3523, 1982.
2. Логвинов Н.Г. Самовозбуждающиеся колебания в воздушных подъемниках. – В сб. «Разработка месторождений полезных ископаемых», вып.31, «Техніка», Киев, 1973.

Надійшла до редакції 11.07.2011.

А. П. Стегниенко, А. В. Игнатов

*Донецкий национальный технический университет*

#### **О повышении динамической устойчивости режимов ступенчатых схем эрлифтов**

На основании результатов исследования вынужденных колебаний в эрлифте разработана методика расчета рациональных размеров приемной емкости ступенчатых эрлифтов.

Ключевые слова: исследование, эрлифт, сжатый воздух, вынужденные колебания.

A. V. Ignatov, A. P. Stegnienko

*Donetsk national technical university*

#### **About a heightening of dynamic stability of conditions of the stepping schemas of air-lifts**

On the basis of results of study of forced vibrations in an air-lift the method of application of calculation of the rational sizes of inset capacitance of stepping air-lifts is designed.

Keywords: study, air-lift, compressed air, forced vibrations