

ПРО ПІДВИЩЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ РЕЖИМІВ СТУПІНЧАТИХ СХЕМ ЕРЛИФТІВ

Стегнієнко А.П. канд. тех. наук, доц.,
Ігнатов О.В. канд. тех. наук, доц.,
Донецький національний технічний університет

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

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.

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 збірного 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 то-

му, що відзначаються великими питомими витратами енергії, хоча й виявляються динамічно стійкими).

Застосування стабілізуючих систем автоматичного регулювання режимів роботі 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 самозбурювальних 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 ємкість 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 ємкості 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 ω_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.

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

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

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;

γ - об'ємна вага транспортного середовища;

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

l_{np} - довжина приймального трубопроводу;

$P_{\Delta.узб}$ - надлишковий тиск динамічного занурення.

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

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

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;

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

$$v_{cp} = \frac{Q_{\varepsilon.opt} \cdot P_a}{S_{\varepsilon} \cdot P}$$

S_{ε} - площа перерізу пневмопроводу;

$Q_{\varepsilon.opt}$ - розхід стислого повітря на оптимальному режимі;

P_a - атмосферний тиск.

3. Максимальна виробність ерліфта $Q_{\varepsilon.max}$, що відповідає вершині на півперіоду коливань, визначається формулою:

$$Q_{\varepsilon.max} = \sqrt{Q_{\varepsilon.opt}^2 + \frac{2g \cdot S_{np}^2 \cdot A_p}{\gamma \cdot \lambda_{np}}}$$

Де $Q_{\varepsilon.opt}$ - виробність ерліфта на оптимальному режимі; g - прискорення вільного падіння; λ_{np} - коефіцієнт опору приймального трубопроводу.

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

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

$$W = \frac{Q_{\varepsilon.max} \cdot T_{opt}}{2};$$

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

$$W = A_Q \cdot T_{opt}$$

де A_Q - амплітуда коливань виробності ерліфта

$$A_Q = Q_{\varepsilon.max} - Q_{\varepsilon.opt}$$

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 ерліфтної установки в цілому.

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

Список джерел:

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

ABOUT A HEIGHTENING OF DYNAMIC STABILITY OF CONDITIONS OF THE STEPPING SCHEMAS OF AIR-LIFTS

Ignatov A.V. candidate of technical sciences, ass.professor
Stegnienko A.P. candidate of technical sciences, ass.professor
Donetsk national technical university

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.

ПРО ПІДВИЩЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ РЕЖИМІВ СТУПІНЧАТИХ СХЕМ ЕРЛИФТІВ

Стегнієнко А.П. канд. тех. наук, доц.,
Ігнатів О.В. канд. тех. наук, доц.,
Донецький національний технічний університет

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

О ПОВЫШЕНИИ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ РЕЖИМОВ СТУПЕНЧАТЫХ СХЕМ ЭРЛИФТОВ

Стегнієнко А.П. канд. тех. наук, доц.,
Ігнатів О.В. канд. тех. наук, доц.,
Донецкий национальный технический университет

Ключевые слова: исследование (дослідження, study), эрлифт (ерліфт, air-lift), сжатый воздух (стисле повітря, compressed air), вынужденные колебания (вимушені коливання, forced vibrations).