

УДК 622.2

## К ВОПРОСУ ОБ ЭРЛИФТЕ КАК АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

Журба В.В., канд. техн. наук, доц., Малеев В.Б., докт. техн. наук, проф., Журба В.Вас., ст.преподаватель,  
Донецкий национальный технический университет

*При сопоставлении теоретических и экспериментальных материалов, приведенных в [1,2], обнаружено, что квалификационная характеристика "автоколебательная система", на которой настаивает [1], не охватывает всего многообразия режимов движения многофазной среды в шахтном эрлифте. Встречаются режимы с явными признаками параметрического возбуждения [3]. Появляется возможность разработки новых математических моделей.*

*Comparative analysis of theoretical and experimental materials provided in [1,2] reveals that a qualification characteristic "self-excited oscillations" cannot embrace a wide variety of multiphase medium motion modes in a mine air lift. There exist some modes with evident features of parametric excitation. It allows working out new mathematic models.*

**Цель работы:** попытка озвучить мало исследованное (в силу знаний авторов) направление построения математической модели, описывающей колебательные процессы транспортируемой многофазной среды в подъемной трубе эрлифта.

Поскольку значительная ее часть компилирует уже известные научные знания, то авторы придали ей форму *центовны*<sup>1</sup>.

Во избежание терминологического разночтения приведены официально принятые [3] классификационные признаки колебательных систем и колебательных процессов (и не только механических).

### **Системы.**

**Стационарные и нестационарные системы** <...>. Процессы, происходящие в них, описываются *дифференциальными уравнениями* с постоянными и переменными коэффициентами соответственно.

**Автономные и неавтономные системы.** Колебательные процессы в автономных системах могут происходить лишь за счет внут-

---

<sup>1</sup> Центона – 1) «произведение, смонтированное из отрывков, взятых у различных авторов»; 2) «то, что человек заимствует у других, будет преобразовано <...> им самим, чтобы стать его собственным творением, то есть собственным суждением». (Монтень М. Опыты, кн.І. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1960. – 526 с.).

ренних источников энергии либо энергии, сообщенной системе в виде начального возмущения. Остальные системы – неавтономны. Граница между ними условна, она обусловлена выбором математической модели.

**Консервативные и неконсервативные системы.** Полная механическая энергия консервативной системы остается постоянной при колебаниях; в противном случае система неконсервативна. Систему называют *автоколебательной*, если она *стационарна* и *автономна* и если при определенных условиях в ней возможно *самовозбуждение* колебаний. Автоколебательные системы характеризуются наличием в них источника энергии неколебательной природы, причем поступление энергии регулируется движением самой системы.

### **Процессы.**

**Автоколебания** (*самовозбуждающиеся* колебания). Возникают и поддерживаются от источника энергии неколебательной природы, причем этот источник включен в систему. Поступление энергии регулируется движением системы. Автоколебания возможны лишь в неконсервативных стационарных системах. Часто под автоколебаниями понимают установившиеся колебательные процессы, которые поддерживаются источниками энергии неколебательной природы; при этом параметры установившихся автоколебаний в существенной степени определяются нелинейными свойствами системы.

**Параметрические** колебания. Вызываются изменением во времени параметров системы. Возможны лишь в нестационарных системах.

Важно отметить, что,

во-первых, возможны процессы смешанного характера, которые представляют собой наложение <...> колебаний, возбуждаемых внешними воздействиями, параметрически возбуждаемых колебаний и колебаний, возбуждаемых внутренними источниками энергии;

во-вторых, подчеркнуть **необходимость** требования **стационарности** системы, совершающей **автоколебания** и **нестационарности** таковой, совершающей **параметрические** колебания. Именно это отличие является ключевым при разграничении таких колебаний.

Ниже сделана попытка обобщить теоретические и экспериментальные выводы двух ученых одной и той же школы – профессора Логвинова Н.Г. [1] и доцента Стегниенко А.П. [2].

В работе [1] движение двухфазной водовоздушной среды в подъемной трубе шахтного эрлифта было отнесено к автоколебаниям.

Диапазон расходной характеристики – от нуля до (1.10 - 1.15) оптимальной подачи эрлифта  $Q_{э\_opt}$ . В области оптимальных режимов диаграммы колебаний давления имеют вид, близкий к синусоидальному. При переходе из области оптимальных режимов в область нулевых колебания приобретают резко выраженный релаксационный характер, период колебаний возрастает в 1.6 – 2.0 раза, а промежуток времени между выбрасываниями жидкой фазы из подъемной трубы сокращается.

В работе [2] описано, как на вход в смеситель подавалось гармоническое возмущение по расходу воздуха, причем схема позволяла вносить как чистые возмущения, так и накладывать их на стационарный поток. Размахи возмущений варьировались в пределах  $\Delta Q = (0.2 - 2.0)Q_{в.опт}$  – в долях оптимального расхода воздуха и  $\omega_{в} = (0.25 - 0.30)\omega_{с}$  – в долях частоты самовозбуждающихся колебаний на оптимальном режиме. Независимо от величины возмущения, режима работы и погружения параметры < колебаний > эрлифта всякий раз изменялись по закону возмущающей силы (конец цитаты).

Наш комментарий: согласно [3, том 2], описанное выше явление называется *захватыванием* или *синхронизацией*, что характерно именно для *автоколебательных* систем.

Далее в [2] сообщается, что исключение составляет зона оптимальных режимов. Здесь выявлена новая закономерность в периодическом движении среды, ранее не описанная в литературе (спорное утверждение – авт.), а именно, деление частоты колебаний.

Это явление характерно тем, что период выбросов жидкой фазы на выходе эрлифта становится в два раза больше периода возмущающей функции, причем наблюдается на различных погружениях, не зависит от начальных условий и носит устойчивый характер. Деление частоты колебаний возникает при следующих условиях:

а) среднее за период (стационарное) значение расхода воздуха эрлифтом при работе с возбуждением колебаний соответствует оптимальному режиму на данном погружении;

б) частота возмущения  $\omega_{в}$  находится в пределах 0,8–1,2 частоты  $\omega_{с}$  самовозбуждающихся (авто) колебаний на оптимальном режиме;

в) размах колебаний возмущающего параметра составляет не менее половины его стационарного значения, то есть  $\frac{2A_Q}{Q_{в.сп.}} \geq 0,5$ .

Наш комментарий: согласно [3, том 2], описанное выше явление находит объяснение в терминах *параметрического резонанса* гидродинамической системы. Целочисленное деление частоты – бесспорный признак параметрического резонанса. Последний, в свою очередь, предполагает нестационарность системы, выраженную в форме неустойчивости как монотонного непериодического движения, так и колебаний (по-видимому, авто-).

Причину параметрического резонанса при дальнейших исследованиях можно искать в нескольких направлениях. Принципиальная простота устройства эрлифта сочетается с большими математическими проблемами корректного учета взаимодействия комплекса физико-механических параметров, как predetermined на этапе проектирования, так и случайных. Одно из предлагаемых направлений развивает утверждение [3], согласно которому «параметрическое возбуждение колебаний возможно в системах, где движение передается через упруго деформируемые звенья». Наличие таких звеньев – воздушных пробок в поршневом режиме (его еще называют «четочным») очевидно. По мере перемещения вверх по подъемной трубе эрлифта упругие составляющие их реакций на соседние жидкие (инерционные) компоненты транспортируемой среды изменяются как явные функции времени  $t$ . То есть формируют необходимый признак параметрических колебаний – нестационарность упругого элемента системы. Распределенные по высоте трубы, воздушные пробки формируют в областях неустойчивости невозмущенного движения дискретный спектр частот  $\omega_k$ , соответствующих параметрическим резонансам для внешнего гармонического возбуждения с циклической частотой  $\omega$ , [3]: 
$$\omega = \frac{2\omega_k}{p} \quad (k = 1, 2, \dots, n; p = 1, 2, \dots).$$
 Обнаруженный в

эксперименте [2] случай отвечает значению  $p = 4$  и, по-видимому,  $k = 1$ , что как раз и соответствует нижней (первой) форме колебаний. Интересно было бы попробовать «поймать» экспериментально 2-ю форму, что могло бы подтвердить окончательно обоснованность сделанных здесь предположений.

Нуждается в проверке, как в форме математической модели, [4], так и, желательно, экспериментально, версия о влиянии упругих колебаний стенок трубопровода на возникновение параметрических колебаний. Вероятность последнего выше, по-видимому, для неметаллических труб. Могут создаваться сочетания, способствующие разви-

тию взаимно связанных форм колебаний, среди которых и параметрическим «найдется место».

**Выводы.** Замечено, что опытные данные [2] дают основания для проведения в дальнейшем более детальной классификации поведения движущейся многофазной среды в шахтном эрлифте – дуализма (двойственности). При некоторых режимах она проявляет свойства автоколебательной ("самовозбуждающейся") механической системы, что объясняет наблюдаемое в эксперименте явление "захвата". При других режимах – обнаруживаются свойства параметрического возбуждения, в частности – параметрического резонанса.

Предложен один из возможных подходов для последующего исследования, который можно положить в основу создания математической модели.

Список источников.

1. Логвинов Н.Г. Самовозбуждающиеся колебания в воздушных подъемниках. "Разработка месторождений полезных ископаемых", вып. 31, К.: Техніка, 1973, с.88-98.
2. Стегниенко А.П. Исследование и разработка методов управления режимами работы шахтных эрлифтов. Автореф. дисс. соиск. к.т.н. Донецк: ДПИ, 1978.
3. Вибрации в технике: Справочник. В 6-ти т. /Ред. совет: В.Н.Челомей (пред.). – М.: Машиностроение, 1978 – Т.1. – 352 с., ил., 1979 – Т.2. – 351 с., ил.
4. Колебательные явления в многофазных средах и их использование в технологии/ Р.Ф.Ганиев, Н.И.Кобаско, В.В.Кулик и др. –К.: Техніка, 1980. – 142 с., ил.

*Дата поступления статьи в редакцию: 20.10.08*