

# МАШИНЫ

**4**

МОСКВА-1969

МИНИСТЕРСТВО НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР  
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ОРГАНИЗАЦИИ, УПРАВЛЕНИЯ И ЭКОНОМИКИ НЕФТЕГАЗОВОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ

---

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

**4**

---

ВНИИОЭНГ  
МОСКВА 1969

## СОДЕРЖАНИЕ

### ОБОРУДОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

<i>Гусейнов М. А.</i> Безбалансирный станок механического действия типа СБМЗ-1,8-700 . . . . .	3
<i>Бухаленко Е. И.</i> Новые агрегаты и подъемник для текущего и капитального ремонтов скважин . . . . .	5
<i>Букштейн М. А., Смолина А. К.</i> Некоторые причины обрывов талевых канатов . . . . .	10
<i>Владиславлев А. С., Малышев В. А.</i> К вычислению максимума амплитуды вынужденных колебаний давления по длине трубопроводных систем . . . . .	13
<i>Мовсумов А. А., Хасаев Р. М., Мамедзаде Э. Б.</i> К определению характеристики турбин турбобуров при работе на глинистых растворах . . . . .	16
<i>Габдуллин Р. Г., Бикбулатов А. У.</i> Замкнутая схема обвязки скважины при гидрорескоструйной перфорации . . . . .	18

### КОНТРОЛЬ И РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

<i>Абдуллаев А. А., Рынский О. М.</i> Локальное устройство автоматического управления группой конденсационных аппаратов (САГП-4) . . . . .	21
<i>Гинзбург В. Б., Гинзбург П. Б.</i> Бесконтактный магнитоупругий датчик крутящего момента . . . . .	25
<i>Садовников Р. Г.</i> Вискозиметр вращения . . . . .	28
<i>Макаев Н. А., Абдуллаев М. А.</i> Использование проводных линий связи для сбора телеметрической информации в конторе бурения . . . . .	30

### ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

<i>Шрейбер Г. К., Ефремов Н. Н., Ефремов А. П.</i> Влияние повышенной температуры на механические свойства стали 16ХГТА применительно к насосно-компрессорным трубам, работающим в условиях термического воздействия на нефтяной пласт . . . . .	32
--	----

### ОБМЕН ОПЫТОМ

<i>Вопияков В. А., Левицкий Г. Б., Стригунов Н. М.</i> Модернизация вышечного подъемника ПВ2-45 в тресте «Ставропольбурнефть» . . . . .	34
---	----

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

*С. Н. Бержец* (главный редактор), *Л. И. Берхман, С. П. Варганов, Л. П. Гранатурова, Я. М. Кершенбаум, А. М. Клевитов, П. И. Копысицкий, В. Д. Кудин, М. Б. Назаретов, А. Д. Обносов, П. А. Палий, А. Н. Рапопорт, В. И. Рошупкин, С. Г. Скрыпник, М. М. Хушпулян* (зам. главного редактора), *Л. Г. Чичеров, В. Ф. Штамбург, М. Г. Эскин*

Ведущие редакторы *А. В. Дерюгина, А. Б. Кукес*

Технический редактор *Г. В. Смирнова*

Корректоры *Т. П. Лактионова, О. К. Зоткина.*

ВНИИОЭНГ № 3261. Сдано в набор 25/II 1969 г. Подписано в печать 22/IV 1969 г. Т-07649. Формат 84×108<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Печ. л. 2,25. Уч.-изд. л. 3,38. Усл. печ. л. 3,78. Заказ 2538. Тираж 4350 экз. Цена 30 коп. ВНИИОЭНГ, Москва, М-162, Хавская, 11.

Дзержинская типография Горьковского управления по печати  
Дзержинск, проспект Циолковского, 15

# К вычислению максимума амплитуды вынужденных колебаний давления по длине трубопроводных систем

А. С. ВЛАДИСЛАВЛЕВ, В. А. МАЛЫШЕВ

(МННХ и ГП им. П. М. Губкина)

УДК 622.276.43:621.643.006.8.001.2

**В** настоящее время существует целый ряд способов оценки эффективности гасителей пульсации давления в трубопроводных системах нагнетательных установок. Однако практически эти способы удобны при экспериментальных исследованиях оценки эффективности гасителей пульсации давления.

Для аналитического описания работы гасителя пульсации давления необходимо знать величину максимальной амплитуды пульсации давления и ее место по длине трубопроводной системы. Оценка эффективности гасителя пульсации давления в этом случае сводится к вычислению максимума амплитуды пульсации давления по длине трубопроводной системы в двух случаях: с учетом гасителя и без него.

Настоящая статья посвящена вопросу вычисления максимума амплитуды колебаний давления по длине сложной трубопроводной системы с неоднородными включениями.

Все обозначения приняты по [1, гл. XI]. В частном случае для простой линии выражение максимума амплитуды колебаний давления было получено в [2].

Рассмотрим задачу определения максимума амплитуды для некоторых простых систем.

1. Линия с постоянными распределенными параметрами, нагруженная справа на импеданс (рис. 1).

Напряжение  $\dot{U}(x)$  в точке  $x$  выражается через ток и напряжение в начале линии

$$\dot{U}(x) = \dot{U}(0)ch\gamma x - \dot{I}(0)Z_c sh\gamma x.$$

Но  $\dot{I}(0) = \frac{\dot{U}(0)}{Z_{вх}}$ ,

где  $Z_{вх}$  — выходной импеданс системы,

$$Z_{вх} = \frac{Z_{вх}ch\gamma l + Z_c sh\gamma l}{\frac{Z_l}{Z_c} sh\gamma l + ch\gamma l}.$$

Таким образом,

$$\dot{U}(x) = \dot{U}(0) \left( ch\gamma x - \frac{Z_c}{Z_{вх}} sh\gamma x \right).$$

Максимум амплитуды по длине  $x$  будет

$$K = \max_x \left| \frac{\dot{U}(x)}{\dot{U}(0)} \right| = \max_x \left| ch\gamma x - \frac{Z_c}{Z_{вх}} sh\gamma x \right|^*$$

Если пренебречь потерями в линии, то

$$\gamma = i\omega\sqrt{L_0 C_0} = i\alpha.$$

Тогда

$$\max_t \left| ch i\alpha x - \frac{Z_c}{Z_{вх}} sh i\alpha x \right| = \max_x \left| \cos\alpha x - \frac{Z_c}{Z_{вх}} i \sin\alpha x \right|.$$

Если импеданс  $Z_l$  — чисто мнимая величина, т. е. он реактивный, то  $-\frac{Z_c}{Z_{вх}}$  — есть действительное число, и можно ввести угол  $\varphi$

$$\operatorname{ctg}\varphi = -i \frac{Z_c}{Z_{вх}}.$$

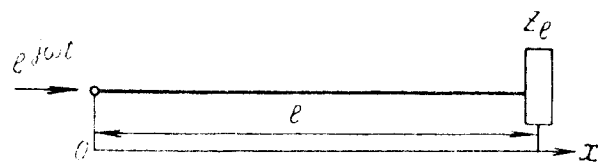


Рис. 1. Участок линии с распределенными параметрами, нагруженный на импеданс  $Z_l$

Тогда

$$\max_x \left| \cos\alpha x + \operatorname{ctg}\varphi \sin\alpha x \right| = \max_x \left| \frac{1}{\sin\varphi} \right| \cdot \left| \sin(\alpha x + \varphi) \right| = \frac{1}{(\sin\varphi)} \cdot \max_x \left| \sin(\alpha x + \varphi) \right|.$$

\* Здесь использован комплексный метод. Это допустимо, так как

$\left| Ae^{i\omega t} \right| = \left| (A_1 + iA_2)(\cos\omega t + i\sin\omega t) \right| = \left| A_1 \cos\omega t - A_2 \sin\omega t + i(A_1 \sin\omega t + A_2 \cos\omega t) \right|$ , и, следовательно, каким бы ни было начальное выражение  $\sin\omega t$  или  $\cos\omega t$  амплитуды  $\max_t |A_1 \cos\omega t - A_2 \sin\omega t|$  и  $\max_t |A_1 \sin\omega t + A_2 \cos\omega t|$  равны

$$\sqrt{A_1^2 + A_2^2} = |A|, \text{ ибо } \max_t \left| \frac{A_1}{\sqrt{A_1^2 + A_2^2}} \cos\omega t - \frac{A_2 \sin\omega t}{\sqrt{A_1^2 + A_2^2}} \right| = 1.$$

Если линия имеет достаточную длину, а именно  $l \gg \frac{\pi}{\alpha}$ , т. е. половины длины волны,

что практически всегда имеет место, то  $\max_x |\sin(\alpha x + \varphi)| = 1$ , и, следовательно

$$K = \frac{1}{(\sin \varphi)}$$

2. Если  $\frac{Z_{\text{BX}}}{Z_c} = X_{\text{BX}} + iY_{\text{BX}}$ , то

$$\begin{aligned} \max_x &= \max_x \left| \cos \alpha x - \frac{iX_{\text{BX}} - iY_{\text{BX}}}{X_{\text{BX}}^2 + Y_{\text{BX}}^2} \sin \alpha x \right| = \max_x \left| \sqrt{\left( \cos \alpha x - \frac{Y_{\text{BX}}}{X_{\text{BX}}^2 + Y_{\text{BX}}^2} \sin \alpha x \right)^2 + \left( \frac{X_{\text{BX}}}{X_{\text{BX}}^2 + Y_{\text{BX}}^2} \sin \alpha x \right)^2} \right| = \\ &= \sqrt{\max_x \frac{1}{X_{\text{BX}}^2 + Y_{\text{BX}}^2} + (X_{\text{BX}}^2 + Y_{\text{BX}}^2 - 1) \cos^2 \alpha x - Y_{\text{BX}} \cdot 2 \sin \alpha x \cos \alpha x} = \\ &= \frac{1}{X_{\text{BX}}^2 + Y_{\text{BX}}^2} \max_x \left| \frac{X_{\text{BX}}^2 + Y_{\text{BX}}^2 + 1}{2} + \frac{X_{\text{BX}}^2 + Y_{\text{BX}}^2 - 1}{2} \cos 2\alpha x - Y_{\text{BX}} \sin 2\alpha x \right|. \end{aligned}$$

Положим

$$\frac{-2Y_{\text{BX}}}{X_{\text{BX}}^2 + Y_{\text{BX}}^2 - 1} = \text{ctg} \psi,$$

тогда

$$\max_x = \frac{1}{X_{\text{BX}}^2 + Y_{\text{BX}}^2} \left( \frac{X_{\text{BX}}^2 + Y_{\text{BX}}^2 + 1}{2} + \frac{1}{|\sin \psi|} \right).$$

3. Пусть теперь  $\frac{Z_{\text{BX}}}{Z_c} = X_{\text{BX}} + iY_{\text{BX}}$  и  $j = i\alpha + \beta$ .

Тогда

$$\begin{aligned} K &= \max_x \left| \text{ch}(\alpha i + \beta)x - \frac{X_{\text{BX}} - iY_{\text{BX}}}{X_{\text{BX}}^2 + Y_{\text{BX}}^2} \text{sh}(\alpha i + \beta)x \right| = \\ &= \max_x \left| \cos(\beta_i - \alpha)x + A \sin(\beta_i - \alpha)x \right|, \end{aligned}$$

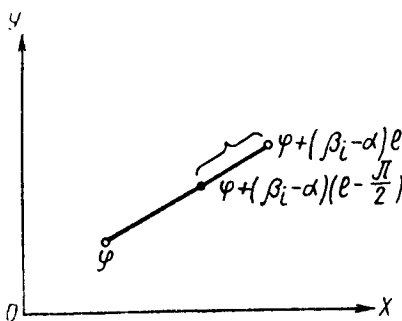


Рис. 2. К определению максимума в случае

$$\frac{Z_{\text{BX}}}{Z_c} = X_{\text{BX}} + iY_{\text{BX}}, j = i\alpha + \beta$$

где  $A = i \frac{X_{\text{BX}} - iY_{\text{BX}}}{X_{\text{BX}}^2 + Y_{\text{BX}}^2}$ .

Положим  $A = \text{ctg} \varphi$ , где  $0 \leq \varphi < \frac{\pi}{2}$ , т. е.

$$\varphi = \text{arctg} A = \frac{\pi}{2} - \frac{1}{2i} \ln \frac{1+iA}{1-iA}.$$

Если  $A \neq \pm i$ , то равенство решается. В этом случае

$$\begin{aligned} K &= \max_x \left| \frac{1}{|\sin \varphi|} \left| \sin \varphi \cos(\beta_i - \alpha)x + \cos \varphi \sin(\beta_i - \alpha)x \right| \right| = \\ &= \max_x \left| \frac{1}{|\sin \varphi|} \left| \sin[\varphi + (\beta_i - \alpha)x] \right| \right|. \end{aligned}$$

Отличие от предыдущего случая заключается в том, что требуется найти  $\max/\sin Z/$  на отрезке (рис. 2).

Известно, что функция  $1/|\sin Z|$  возрастает при удалении от действительной оси по прямой  $\text{Re} Z = \text{const}$  симметрично относительно действительной оси, и имеет период  $\pi$ . Следовательно, для нахождения  $\max/\sin Z/$  на данном отрезке достаточно найти  $\max/\sin Z/$  на отрезке  $[\varphi + (\beta_i - \alpha)(l - \frac{\pi}{\alpha}), \varphi + (\beta_i - \alpha)l]$ , если  $|I_m[\varphi + (\beta_i - \alpha)l]| > I_m|\varphi|$ , и на отрезке  $[\varphi, \varphi + (\beta_i - \alpha)(l - \frac{\pi}{\alpha})]$ , если имеет место обратное неравенство.

Рассмотрим далее уравнение

$$\frac{d(|\sin Z|^2)}{dx} = 0;$$

имеем

$$\begin{aligned} \frac{d(\sin Z \cdot \overline{\sin Z})}{dx} &= \frac{d(\sin Z \cdot \overline{\sin Z})}{dx} = \frac{\partial \sin Z}{\partial Z} \cdot \frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{\partial \overline{\sin Z}}{\partial \overline{Z}} \cdot \frac{\partial \overline{Z}}{\partial x} = \\ &= \sin Z(\beta_i - \alpha) + \sin \overline{Z}(-\beta_i - \alpha) = 2\text{Re}[(\beta_i - \alpha)\sin Z] = \\ &= 0, \end{aligned}$$

где  $\overline{\sin Z} = \sin \overline{Z}$ .

Таким образом,  $\sin Z$  можно разложить в степенной ряд с действительными коэффициентами.

Отсюда

$$\begin{aligned} & \operatorname{Re}[(\beta_i - \alpha)(e^{i(\varphi' + \varphi'')} - (\beta + i\alpha)x - \\ & - e^{-[i(\varphi' + \varphi'') - (\beta + i\alpha)x]}] = 0; \\ & -\alpha[e^{-\varphi'' - \beta x} \cos(\varphi' - \alpha x) - e^{\varphi'' + \beta x} \cos(\varphi' - \alpha x)] - \\ & -\beta[e^{-\varphi'' - \beta x} \sin(\varphi' - \alpha x) + e^{\varphi'' + \beta x} \sin(\varphi' - \alpha x)] = 0; \\ & \alpha = (\cos \varphi' - \alpha x) + \beta \sin(\varphi' - \alpha x) = \\ & = e^{2(\varphi'' + \beta x)} [\alpha \cos(\varphi' - \alpha x) - \beta \sin(\varphi' - \alpha x)] \end{aligned}$$

или

$$\frac{\sin(\varphi' - \alpha x + \psi)}{\sin(\varphi' - \alpha x - \psi)} = e^{2(\varphi'' + \beta x)},$$

где  $\psi = \operatorname{arctg} \frac{\beta}{\alpha}$ .

Это уравнение не допускает дальнейшего упрощения, но легко решается в численном виде, что проверяется вычислением второй производной.

**Общий случай.** Дана система (рис. 3), состоящая из  $n$  линий, разделенных  $n-1$  четырехполюсниками с матрицами:

$$Q_i = \begin{vmatrix} A_i & B_i \\ C_i & D_i \end{vmatrix}, \quad i = 1, \dots, n-1$$

и замкнутая на импеданс.

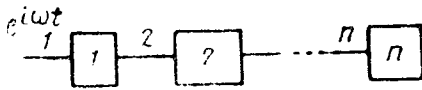


Рис. 3. Схема системы, состоящей из  $n$  участков с распределенными параметрами и  $n-1$  сосредоточенных элементов

Рассмотрим, как рассчитывается максимум амплитуды давления на  $k$ -ой линии. Сведем эту задачу к вычислению максимума амплитуды для системы (рис. 4).

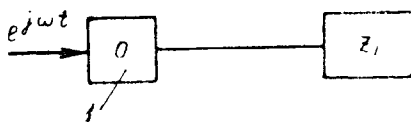


Рис. 4. Предварительная расчетная схема для определения максимума амплитуды в сложной системе

На данном рисунке  $I$  — четырехполюсник с передаточной матрицей  $G = \begin{vmatrix} A & B \\ C & D \end{vmatrix}$ . Для этого заменим линии 1, 2, ...,  $k-1$  четырехпо-

люсниками с матрицами  $P_1, \dots, P_{k-1}$  соответственно [1].

Тогда получим

$$G = Q_1 \cdot P_1 \cdot Q_2 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_{k-1} \cdot Q_k.$$

Импеданс  $Z_1$  есть входной импеданс системы (рис. 5).

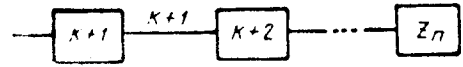


Рис. 5. Схема для определения входного импеданса сложной системы

Выищем теперь максимум  $\dot{U}(x)$  для системы (рис. 6). Пользуясь методами, изложенными в пунктах 1, 2, 3, можно записать

$$\max_x \left| \frac{\dot{U}(x)}{\dot{U}(0)} \right|.$$

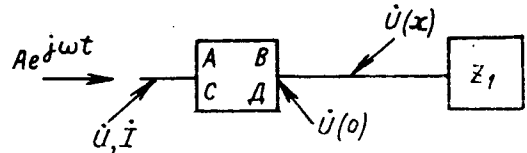


Рис. 6. Расчетная схема для определения максимума амплитуды в сложной системе

Отсюда, в частности, следует, что расположение максимума амплитуды пульсации давления не зависит от матрицы  $ABC$ , т. е. от начальной части системы.

$$\text{Остается найти } \left| \frac{\dot{U}(0)}{A} \right|.$$

Сначала находим входной импеданс  $\bar{Z}_{\text{вх}}$  всей системы. Имеем

$$\dot{U}(0) = \dot{U}D - IB; \quad \dot{U} = A\dot{U}(0) + BI(0);$$

$$I(0) = -\dot{U}C + AI; \quad I = C\dot{U}(0) + DI(0)$$

$$\text{и } \bar{Z}_{\text{вх}} = \frac{\dot{U}}{I} = \frac{A\dot{U}(0) + BI(0)}{C\dot{U}(0) + DI(0)} = \frac{AZ_{\text{вх}} + B}{CZ_{\text{вх}} + D},$$

$$\text{где } Z_{\text{вх}} = \frac{Z_1 \operatorname{ch} \gamma l + Z_c \operatorname{sh} \gamma l}{Z_1 \operatorname{sh} \gamma l + \operatorname{ch} \gamma l},$$

следовательно,  $\dot{U}(0) = \dot{U}D - I \frac{B}{\bar{Z}_{\text{вх}}}$  и

$$\left| \frac{\dot{U}(0)}{A} \right| = \left| D - \frac{B}{\bar{Z}_{\text{вх}}} \right|.$$

## Вывод

С помощью изложенной в настоящей статье методики можно вычислить максимум амплитуды пульсации давления и его место практически в любой по сложности трубопроводной системе.

## К определению характеристики турбин турбобуров при работе на глинистых растворах

А. А. МОВСУМОВ, Р. М. ХАСАЕВ, Э. Б. МАМЕДЗАДЕ

(АзНИИбурнефть, Азерб. политехнический институт)

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. М., «Вышая школа», 1964.
2. Ржевкин С. Н. Курс лекций по теории звука. Изд. МГУ, 1960.

[24/XII 1968]

УДК 622.243.05—82(24):622.243.144

Таблица 1

Номера растворов	Структурно-механические свойства глинистых растворов		
	удельный вес $\gamma$ , г/см <sup>3</sup>	предельное напряжение сдвига $\tau_0$ , дн. см <sup>2</sup>	структурная вязкость $\eta$ , спз
1	1,20	45	8,3
2	1,28	75	11,3
3	1,29	154	16,3
4	1,29	396	29
5	1,29	773	44

Для построения рабочих характеристик турбин турбобуров при работе с глинистыми растворами различных структурно-механических свойств пользуются данными стендовых испытаний турбин на воде.

Для этого ВНИИБТ на основании лабораторных испытаний турбин турбобуров на воде составлены таблицы. Чтобы найти значение мощности, крутящего момента и перепада давления для турбин турбобура с числом ступеней  $z$  при течении промывочного раствора удельного веса  $\gamma$  г/см<sup>3</sup>, соответствующее табличное значение умножается на величину  $\gamma z/100$  [1]. Определение характеристики турбин турбобуров по вышеназванной методике не подтверждается испытаниями, проведенными на модернизированном стенде АзНИИбурнефть. Это может быть объяснено тем, что при пересчете результатов испытаний турбин на воде на глинистые растворы не учитывается изменение утечек через радиальные зазоры; кроме того, испытанию подвергаются всего лишь 5—6 турбин турбобуров из всей выпущенной заводом партии. Указанные факторы могут явиться причиной расхождений при определении характеристики турбин турбобуров.

С этой целью были проведены экспериментальные исследования на стенде лаборатории АзНИИбурнефть. В качестве промывочных жидкостей применяли морскую воду и глинистые растворы с различными структурно-механическими свойствами (табл. 1).

Как показали результаты этих работ, значения характеристических параметров турбин турбобура получаются несколько выше

по сравнению с таковыми при течении через турбобур морской воды (табл. 2).

С целью исключения влияния удельного веса на крутящий момент и перепад давления в табл. 2 приведены значения  $M$ ,  $\gamma$  и  $\Delta P$ .

Рост соответствующих параметров турбин турбобуров нельзя считать результатом влияния вязко-пластичных свойств глинистого раствора на эти параметры [2]. Как видно из табл. 1 и 2, при одинаковых удельных весах глинистых растворов изменение значений структурно-механических свойств в достаточно широких диапазонах не приводит к ощутимому изменению этих параметров.

Указанное подтверждается также экспериментальными исследованиями О. А. Ледяшова [3], где отмечено, что с изменением структурно-механических свойств глинистых растворов  $M$  и  $n$  не изменяются.

Можно предположить, что с переходом на глинистые растворы утечки через радиальные зазоры турбин уменьшаются и это приводит к изменению характеристики турбин турбобуров.