

## ГЕНЕРАТОРЫ КОЛЕБАНИЙ В НЕФТЕГАЗОВОМ ДЕЛЕ

*М.В. Омелянюк<sup>1)</sup>, И.А. Пахлян<sup>2)</sup>, А.И. Каменюка<sup>3)</sup>*

1) к.т.н., зав. кафедрой МОНПП Армавирского механико–технологического института (филиала) ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Армавир, Россия, [m.omelyanyuk@mail.ru](mailto:m.omelyanyuk@mail.ru)

2) к.т.н., доцент кафедры МОНПП АМТИ (филиала) ФГБОУ ВО «КубГТУ», г. Армавир, Россия, [pachlyan@mail.ru](mailto:pachlyan@mail.ru)

3) студент кафедры МОНПП АМТИ (филиала) ФГБОУ ВО «КубГТУ», г. Армавир, Россия, [alexeikamenjuka555@yandex.ru](mailto:alexeikamenjuka555@yandex.ru)

**Аннотация:** проведен анализ моделирования и практического применения генераторов колебаний в жидкостных высоконапорных потоках применительно к интенсификации добычи нефти и сооружению подземных хранилищ газа в соляных породах.

**Ключевые слова:** скважина, пласт, генератор, колебание, бурение, амплитуда, частота, вибрация.

## OSCILLATION GENERATORS IN OIL AND GAS BUSINESS

*Maxim V. Omelyanyuk<sup>1)</sup>, Irina A. Pahlyan<sup>2)</sup>, Alexey I. Kamenyuka<sup>3)</sup>*

1) Ph. D., associate Professor, Armavir Institute of Mechanics and Technology (branch) of Federal State Budgetary Institution of Higher Education “Kuban State Technological University”, city of Armavir, Russia, [m.omelyanyuk@mail.ru](mailto:m.omelyanyuk@mail.ru)

2) Ph. D., associate Professor, Armavir Institute of Mechanics and Technology (branch) of Federal State Budgetary Institution of Higher Education “Kuban State Technological University”, city of Armavir, Russia, [pachlyan@mail.ru](mailto:pachlyan@mail.ru)

3) the student Armavir Institute of Mechanics and Technology (branch) of Federal State Budgetary Institution of Higher Education “Kuban State Technological University”, city of Armavir, Russia, [alexeikamenjuka555@yandex.ru](mailto:alexeikamenjuka555@yandex.ru)

**Abstract:** the analysis of modeling and practical use of oscillation generators in liquid high-pressure streams in relation to an intensification of oil production and a construction of underground gas storages in salt breeds is carried out.

**Key words:** hole, layer, generator, hesitating, drillings, amplitude, frequencies, oscillation

Существует несколько методов генерирования волн применительно к скважинным условиям, которые условно можно разделить на механические, акустические, кавитационные и комбинированные.

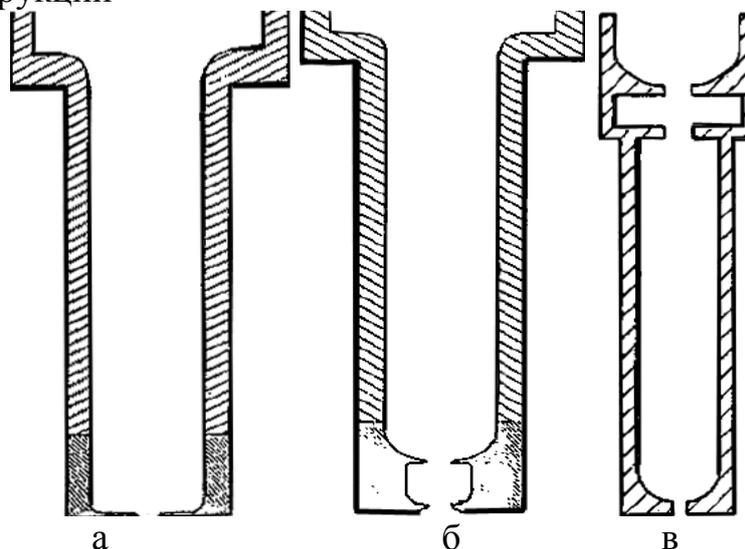
Среди механических наиболее распространены в российской практике интенсификации производительности скважин вибраторы золотникового типа и гидроударники клапанного типа. Гидравлический вибратор золотникового типа создает колебания путем периодического перекрытия потока рабочей жидкости, протекающей через турбинное устройство, у которого направляющим аппаратом является ствол с прорезями или отверстиями, а рабочим колесом – золотник с направленными под углом прорезями или отверстиями.

В российской и зарубежной практике строительства скважин и интенсификации добычи нефти предложены вибраторы, большая часть которых конструктивно основана на четвертьволновых резонаторах типа «органная труба», резонаторе Гельмгольца, излучателе Гартмана, вихревых центробежных форсунках, консольно закрепленных колеблющихся пластинах и т.д. [1,2-5]; различном сочетании указанных элементов в едином устройстве.

В российских и зарубежных источниках предложено значительное количество устройств, использующих колебательные эффекты затопленных струй в режиме развитой кавитации [1-5, 6-10].

Авторы [2-5] исследовали влияние на интенсификацию бурения волнового воздействия, создаваемого за счет комплексного кавитационного воздействия и акустических колебаний в резонаторах Гельмгольца и типа «органной трубы», а также для ряда других приложений в нефтегазовой отрасли. Вибраторами оснащались стандартные шарошечные и алмазные долота. Проведенные исследования позволили установить, что эрозия в результате использования резонирующих насадков вместо стандартных повышалась на 20% и более. Авторами отмечено ключевое значение критерия Струхалья в процессе создания дискретных кавитационных торов-каверн. Авторы установили, что дискретные кавитационные торы образуются, если входной поток пульсирует с частотой, близкой по расчету к критическому значению  $Sh=0,3$ . Эффективно разрушение горной породы, если расстояние между породой и насадком составляет несколько диаметров насадка. При повышении противодавления эта величина снижается. Указывается, что дискретные кавитационные торы более эффективны, чем кавитационная струя с постоянным давлением, т.к. при равном перепаде давления на насадке дискретные кавитационные торы способны образовываться при больших противодавлениях, чем кавитационная струя с постоянным давлением.

На рисунке 1 показаны проанализированные авторами [2-5] конструкции саморезонирующих кавитационных проточных генераторов; в работах представлены данные об эффективности и области применения данных конструкций



**Рисунок 1 Саморезонирующие кавитационные насадки с резонаторами:** а - четвертьволновым типа «органная труба» (“organ-pipe self-resonating cavitating nozzle”); б- Гельмгольца в сочетании с четвертьволновым (“PULSER”); в – сочетание двух четвертьволновых и резонатора Гельмгольца (“PULSER-FED”) [2-5]

В работе [11] критические условия, требуемые для генерирования кавитации, оцениваются через скорость потока воды в насадке, при которой достигаются предельные условия (разрыв жидкости):

$$W_{np} = \sqrt{\frac{2rV' \Delta t_{np}}{T(V'' - V')}} \quad (1)$$

где  $W_{np}$  - предельная скорость потока;

$r$  - удельная теплота парообразования;

$\Delta t_{np}$  - предельное значение начального недогрева рабочей жидкости;

$T$  - абсолютная температура;

$V'', V'$  - удельные объемы паровой и жидкой фаз.

В работе [12] на основе экспериментальных зависимостей предложена формула определения частот кавитационных колебаний для трубок Вентури с углами раскрытия диффузора 20 и 30° в виде:

$$f = \frac{v \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}{r \cdot \sqrt{\mu}} \cdot (1 - \sqrt{1 - \tau}) \quad (2)$$

где  $v$  – скорость жидкости в критическом сечении генератора,

$\beta$  – угол раскрытия диффузора генератора,  
 $r$  – радиус критического сечения,  
 $\mu$  – коэффициент расхода,  
 $\tau$  – параметр кавитации, равный соотношению давления подпора  $P_2$  к давлению питания  $P_1$ .

Скорость жидкости в критическом сечении сопла без учета коэффициента расхода определяется по формуле:

$$v = \sqrt{2(P_1 - P_k)/\rho} \quad (3)$$

где  $P_k$  – давление в кавитационной каверне;

$\rho$  – плотность жидкости.

Формула для расчетов амплитуд высокочастотных колебаний давления при кавитационном истечении представлена в работе [13] в виде:

$$|\delta P_2| = \rho v^2 (2\pi)^2 Sh_m^2 \frac{I_d}{\sqrt{1 + \frac{(2\pi)^2 v^2 I_d^2 F_2^2}{I_k^2 c^2}}} \frac{|\delta V_k|}{l_k^2} \quad (4)$$

где  $I_d$  – коэффициент инерционного сопротивления участка диффузора трубки Вентури, расположенного между осевшей каверной и выходом диффузора;

$|\delta V_k|$  – объем оторвавшейся части каверны;

$c$  – скорость звука в жидкости;

$F_2$  – площадь выходного сечения диффузора генератора,

$l_k$  – длина кавитационной каверны,

$Sh_m$  – модифицированное число Струхалья.

Собственная частота резонатора Гельмгольца вычисляется по формуле:

$$f = \frac{v}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{S}{V_0 L}}, \quad (5)$$

где  $f$  – частота, Гц;

$v$  – скорость звука, м/с;

$S$  – площадь проходного сечения отверстия, м<sup>2</sup>;

$L$  – длина отверстия, м;

$V_0$  – объем резонатора, м<sup>3</sup>.

В резонаторах типа «органная труба» стоячие волны возможны лишь для тех случаев, когда на длине трубы укладывается нечетное число четвертей длин волн. Хотя резонансных частот несколько, однако, сильнее выражена первая мода колебаний. Длина четвертьволнового резонатора определяется по формуле:

$$L = \frac{v}{4f}, \quad (6)$$

где  $f$  – частота, Гц;

$v$  — скорость звука, м/с;

В работе [14] представлены данные об использовании колебаний в струйных потоках для сооружения подземного хранилища газа в соляных коллекторах. Опытно-промысловые работы показали, что при использовании саморезонирующих кавитационных насадков скорость сооружения подземной полости увеличивается более чем в 2 раза по сравнению со стандартным размывом постоянным давлением.

#### **Список использованных источников:**

1. Дыбленко В.П., Камалов Р.Н., Шариффулин Р.Я., Туфанов И.А. // Повышение продуктивности и реанимация скважин с применением виброволнового воздействия. М.Недра, 2000 г. – 381 с.
2. Chahine Georges L., Conn Andrew F., Johnson Virgil E., Jr. Frederick Gary S. -// Cleaning and cutting with self- resonating pulsed water jets, Hydronautics, Inc., Laurel Maryland 20707, 1989.
3. Johnson Virgil E., Lindermuth William T.,Conn Andrew F., Jr. Frederick Gary S. Feasibility study of tuned-resonator, pulsating cavitating water jet for deep-hole drilling, Hydronautics, Inc., Laurel Maryland 20810, 1981.
4. Chahine Georges L., Johnson Virgil E., Jr., Lindermuth William T., Frederick Gary S. The use of self-resonating cavitating water jets for underwater sound generation, Tracor Hydronautics, Inc., Laurel Maryland 20707, August 1984.
5. Conn, A. F.,Johnson,Jr., V. E., Lindenmuth, W. T., and Frederick, G. S., 1981, Some industrial applications of CAVIJETS cavitating fluid jets, Proc. First U. S. Water Jet Sympos., Golden, Colorado, – p. V-2.1 – V-2. 11.
6. Омелянюк М.В. Кавитационные технологии в нефтегазовом деле // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса, 2010. – № 1. – С. 29-33.
7. Омелянюк М.В. Гидравлические генераторы колебаний в нефтегазовом деле // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса, 2011. – № 3. – С. 54-60.
8. Омелянюк М.В. Разработка технологии гидродинамической кавитационной очистки труб от отложений при ремонте скважин // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Краснодар, 2004.
9. Омелянюк М.В., Черномашенко А.Н. Повышение экономичности и безопасности эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения // Нефтепромысловое дело, 2009. – № 4. – С. 43-46.

10. Омелянюк М.В. Интенсификация работы и реанимация водозаборных скважин // Нефтепромысловое дело, 2010. – № 8. – С. 22-25.

11. Ибрагимов Л.Х., Мищенко И.Т., Челоянц Д.К. Интенсификация добычи нефти. М.: Наука, 2000. – 414 с.

12. Пилипенко В.В. К определению частот колебаний давления, создаваемых кавитационным генератором // В кн. Динамика насосных систем. Сб. науч.тр. Киев: Наук. думка, 1980. – С.127-131.

13. Пилипенко В.В. К определению амплитуд колебаний давления, создаваемых кавитационным генератором // В кн. Математические модели рабочих процессов в гидропневмосистемах. Сб.науч.тр. Киев: Наук. думка, 1981. – С.18-24.

14. Song Xianzhi, Li Gensheng, Yuan Jinping and at. Mechanisms and field test of solution mining by self-resonating cavitating water jets/ Petroleum Science. 2010, Volume 7, Issue 3. – p. 385-389.